ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1932

BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS

Classe des sciences mathématiques et naturelles

Отделение математических и естественных наук

МЕТОД ЭКСТРАПОЛИРОВАНИЯ В ПРИМЕНЕНИИ К ЧИСЛЕННОМУ ИНТЕГРИРОВАНИЮ ЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Б. В. НУМЕРОВА

(*Представлено академиком* А. Н. Крыловым)

1. Метод экстраполирования, разработанный нами* в применении к уравнениям небесной механики, позволяет простейшим образом найти координаты небесного тела для третьего момента по координатам для первых двух моментов, т. е. представляет собою своего рода рекурентную формулу для вычисления функции по двум ее значениям. Особенностью метода экстраполирования по сравнению с другими методами численного интегрирования является введение особых координат.

Основная формула экстраполирования в применении к уравнениям небесной механики имеет вид:

$$\bar{s}_3 = \bar{s}_2(2 - \sigma_2) - \bar{s}_1 + R_2 + \frac{1}{12}\Delta^2 R_2 + f_2 \qquad (1)$$

где s есть одна из трех координат x, y и z.

Переход от особых координат к обыкновенным производится по формуле:

$$\bar{s} = s\left(1 + \frac{k^2\omega^2}{12r^3}\right) \qquad (2)$$

* B. Numerov. Méthode nouvelle de la détérmination des orbites et le calcul des éphémérides en tenant compte des perturbations. 1922, Москва. — Id. Note on the numerical integration of $\frac{d^2x}{dt^2} = f(x, t)$. Astr. Nachr. 230. — Id. Sur l'intégration numérique des équations du mouvement troublé en coordonnées speciales. Бюлл. Астр. инст. № 19. — Id. A method of extrapolation of perturbation. Monthly Noth. 1924. — The systematical influence of higher order terms in the process of numerical integration in special coordinates. Русск. астр. журн.

где k^2 — постоянная притяжения, ω — интервал интегрирования и r — радиус-вектор. Величина σ определяется из кубического уравнения

$$\sigma\left(1-\frac{\sigma}{12}\right)^2=\frac{k^2\omega^2}{\bar{r}^3} \tag{3}$$

по аргументу $\bar{r}^2=\bar{x}^2+\bar{y}^2+\bar{z}^2$. Величина R есть проекция возмущающего действия третьего тела, $\Delta^2 R$ — вторая разность возмущающей силы R и, наконец, f остаточные члены влияния высших разностей, начиная с шестого, в процессе экстраполирования, определяемые формулой:

$$f=-\frac{1}{240}\Delta^6+\frac{31}{60480}\Delta^8+\ldots \tag{4}$$

Рекурентная формула (1), при наличии специальных таблиц функции $2\text{-}\sigma$ по аргументу $\bar{r}^2$ для различных интервалов интегрирования, дает на практике быстрый способ последовательного построения координат возмущенного движения для любых начальных условий и возмущающих сил.

Применение метода экстраполирования в Астрономическом институте к целому ряду малых планет показало преимущество нового метода интегрирования и дало значительный сдвиг в международных работах по вычислению эфемерид малых планет. Особенно интересное применение метода экстраполирования было сделано в последнее время в отношении 8-го спутника Юпитера, который с 1923 г. был утерян и не наблюдался. Благодаря слабой величине (18-я величина) его можно найти только, учитывая возмущения от Солнца, которые достигают значительной величины. Предвычисленное положение спутника, пользуясь методом экстраполирования, оказалось всего на несколько минут дуги от наблюденного места и спутник 28 ноября 1930 г. был вновь найден в 100″-й рефлектор обсерватории Моунт-Вилсон, на Ликкской обсерватории и обсерватории Иеркса в Америке.

Успех метода экстраполирования в применении к численному интегрированию уравнений небесной механики естественно ставил перед нами вопрос о дальнейшем развитии и распространении метода на другие классы дифференциальных уравнений.

В настоящей статье мы излагаем предварительные результаты, а именно метод экстраполирования в применении к дифференциальным линейным уравнениям 2-го порядка вида:

$$y''+ay=b \tag{5}$$

где a и b произвольные функции независимой переменной x.

2. Обратимся прежде всего к выводу основных формул известных методов численного интегрирования дифференциальных уравнений более общего вида:

$$y'' = f(x, y). \tag{6}$$

Исходя из формулы Тейлора

$$y - y_0 = y_0'(x - x_0) + \frac{1}{2} y_0''(x - x_0)^2 + \dots$$

и полагая $x_1 - x_0 = \omega$ и $x_{-1} - x_0 = -\omega$, мы можем написать формулу для второй разности функции y на линии нулевого момента в зависимости от четных производных:

$$\Delta^2 y_0 = y_1 - y_{-1} - 2y_0 = \omega^2 y_0'' + \frac{2}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} \omega^4 y_0^{IV} + \frac{2}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6} \omega^6 y_0^{VI} + \dots \tag{7}$$

Введем новую функцию

$$f = \omega^2 y''. \tag{8}$$

Тогда формулу (7) для второй разности можно переписать в виде:

$$\Delta^2 y_0 = f_0 + \frac{2}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} \omega^2 f_0'' + \frac{2}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6} \omega^4 f_0^{IV} \tag{9}$$

Применяя формулу (7) для второй разности функции f по аналогии можем написать:

$$\Delta^2 f_0 = \omega^2 f_0'' + \frac{2}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} \omega^4 f_0^{IV} + \frac{2}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5} \omega^6 f_0^{IV} + \dots \tag{10}$$

Исключая в формулах (9) и (10) вторую производную f'', мы будем иметь:

$$\Delta^2 \left(y_0 - \frac{1}{12} f_0 \right) = f_0 - \frac{1}{240} \omega^4 f_0^{IV} + \dots \tag{11}$$

Из уравнения (9) вытекает метод Штермера и первый метод Коулля. Из формулы (11) следует метод квадратур или второй метод Коулля и метод экстраполирования в особых координатах.

Действительно, выражая производные f_0'', f_0^{IV} через разности δ функции f, мы можем на основании интерполяционной формулы Ньютона

$$f = f_0 + n\delta^1_{-\frac{1}{2}} + \frac{n(n+1)}{1 \cdot 2} \delta^2_{-1} + \frac{n(n+1)(n+2)}{1 \cdot 2 \cdot 3} \delta^3_{-\frac{3}{2}} + \dots \tag{12}$$

получить формулу Штермера для вычисления второй разности искомой функции y

$$\Delta^2 y_0 = f_0 + \frac{1}{12}\delta^2_{-1} + \frac{1}{12}\delta^3_{-\frac{3}{2}} + \frac{19}{240}\delta^4_{-2} + \ldots \qquad (13)$$

Исходя из интерполяционной формулы Стирлинга

$$f = f_0 + n\delta_0^1 + \frac{n^2}{2}\delta_0^2 + \frac{n(n-1)(n+1)}{1\cdot 2\cdot 3}\delta_0^3 + \ldots \qquad (14)$$

мы получим формулу первого метода Коулля:

$$\Delta^2 y_0 = f_0 + \frac{1}{12}\delta^2 f_0 - \frac{1}{240}\delta^4 f_0 + \ldots. \qquad (15)$$

Ниже для ясности приведена интерполяционная схема с принятыми обозначениями для разностей:

$$\begin{array}{cccc} & & & \delta^4_{-1} \\ & & & \delta^3_{-\frac{1}{2}} \\ x_0 & y_0 & \Delta_0^2 & f_0 \\ & & & \delta_0^2 \\ & \Delta'_{\frac{1}{2}} & & \delta^1_{\frac{1}{2}} \quad \delta^3_{\frac{1}{2}} \\ & & & \delta_1^2 \\ x_1 & y_1 & \Delta_1^2 & f_1 \end{array}$$

Формула Штермера (13) позволяет в процессе интегрирования вычислять вторую разность на основании функции f и разностей, идущих вверх по диагонали и известных в процессе построения таблицы интегрирования. Однако, остаточные члены в формуле (13) дают практически плохую сходимость и только при малом интервале интегрирования метод Штермера может быть с успехом применяем. В первом методе Коулля в формуле (15), напротив, мы имеем хорошую сходимость. Однако, вычисления второй разности по формуле (15) требуют последовательных приближений. Таким образом, наиболее рационально вести первое приближение по Штермеру и второе по первому способу Коулля.

Второй метод Коулля основан на формуле, которая легко получается из формулы (11) путем двойного суммирования.

Действительно, можем написать:

$$y_0 = \Sigma\Sigma f_0 + \frac{1}{12}f_0 - \frac{1}{240}\delta_0^2 + \ldots \qquad (16)$$

Преимущества последней формулы (16) с двойным суммированием функции f_0 заключается в следующем: поскольку мы можем в процессе интегрирования точно вычислять функцию f на основании формулы (8), мы можем точно строить двойную сумму $\Sigma\Sigma f_0$, которая отличается от искомой функции y на малые величины, которыми можно или пренебрегать в процессе интегрирования или предсказывать, экстраполируя полученные ранее значения $\frac{1}{12}f$.

3. Из формулы же (11) вытекает и метод экстраполирования в особых координатах для уравнения специального вида.

Действительно, обратимся теперь к интегрированию линейного уравнения вида (5):

$$y'' + ay = b \tag{17}$$

В этом случае формулу (11) можно написать в виде:

$$\Delta_0^2 \bar{y} = -\sigma_0 \bar{y}_0 + R_0 - \frac{1}{240}\Delta^6, \tag{18}$$

где особая функция $\bar{y}$ определяется условием:

$$\bar{y} = y\left(1 + \frac{a\omega^2}{12}\right) \tag{19}$$

и для краткости положено:

$$\sigma = \frac{a\omega^2}{1 + \frac{a\omega^2}{12}}; \qquad R = b\omega^2 + \frac{1}{12}\Delta^2(b\omega^2). \tag{20}$$

Переходя от второй разности к координатам формулу (18) можно написать в следующем окончательном виде:

$$\bar{y}_1 = (2 - \sigma_0)\bar{y}_0 - \bar{y}_{-1} + R_0 + \frac{1}{240}\Delta^6 \ldots \tag{21}$$

которая по своей форме совершенно совпадает с формулой экстраполирования (1) уравнений небесной механики. В случае линейных уравнений вида (17) величина σ и добавочная функция R являются функциями только независимой переменной x, что представляет значительно более простую задачу, чем интегрирование уравнений возмущенного движения.

Для обратного перехода от особой функции $\bar{y}$ к обыкновенной будет служить формула:

$$y = \bar{y}\left(1 - \frac{\sigma}{12}\right) \tag{22}$$

как это непосредственно следует из формул (19) и (20).

4. Уравнению (17) удовлетворяют функции Бесселя, шаровые, Матье, Ламэ и др. Изложенный выше метод численного интегрирования дает возможность простейшим образом построить таблицы указанных функций, не прибегая к разложению в ряды.

Для примера рассмотрим построение таблицы функций Матье. Уравнение, которому удовлетворяют функции Матье, можно написать в виде:

$$y'' + (a + 16q\cos 2x)y = 0. \tag{23}$$

Периодическое решение будет иметь место только для определенного значения параметра «a» при заданном значении параметра q.* Рассмотрим случай четной функции при $q = 0.5$. Из таблицы, приведенной в работе Ince, мы имеем в этом случае $a = 6.828075$, для функции Матье, подобной косинусу двойного угла. Начальные условия интегрирования при $x = 0$ положим равными $y = 1$ и $y' = 0$. Формулы экстраполирования можно написать в этом случае в следующем виде:

$$\bar{y}_1 = \bar{y}_0(2 - \sigma_0) - \bar{y}_{-1} \tag{21}$$

$$y = \bar{y}\left(1 - \frac{\sigma}{12}\right) \tag{22}$$

$$A = \omega^2(a + 16q\cos 2x) \tag{24}$$

$$\sigma = \frac{A}{1 + \frac{A}{12}}. \tag{25}$$

В нижеследующей таблице показан весь процесс построения функции Матье с точностью до 0.001. Интервал интегрирования принят равным

$$\omega = 10^\circ = 0.174533.$$

По заданным значениям a и q прежде всего вычисляем функцию A и затем σ для значений независимой переменной $x = 0^\circ,\ 10^\circ,\ 20^\circ \ldots 90^\circ$. Исходные значения особой функции при $x = 0$ находим по формуле (22), а именно $\bar{y} = 1.038$. Второе значение при $x = 10^\circ$ находим по формуле (21) из условия симметричности четной функции ($\bar{y}_1 = \bar{y}_{-1}$), а именно

$$\bar{y}_1 = \frac{1}{2}(2 - \sigma_0)\bar{y}_0 = 0.812 \tag{26}$$

* E. L. Ince. Researches into the Characteristic Numbers of the Mathieu Equation. Proc. Roy. Soc. Edinburgh. Vol. XLVI, 1925—1926.

Таблица экстраполирования уравнения Матье

x	A	$\frac{\sigma}{12}$	$2-\sigma$	$\frac{\bar{y}}{-\frac{1}{12}\bar{y}\sigma}$	y
0°	0.4517	0.0363	1.5647	1.038	1.000
				— 38	
10	0.4370	0.0351	1.5783	0.812	0.783
				— 29	
20	0.3947	0.0318	1.6181	0.244	0.236
				— 8	
30	0.3299	0.0267	1.6790	—0.417	—0.406
				+ 11	
40	0.2504	0.0204	1.7548	—0.944	—0.924
				+ 20	
50	0.1657	0.0136	1.8365	—1.240	—1.223
				+ 17	
60	0.0862	0.0071	1.9144	—1.333	—1.323
				+ 10	
70	0.0214	+0.0018	1.9787	—1.312	—1.310
				+ 2	
80	—0.0210	—0.0017	2.0210	—1.263	—1.265
				— 2	
90	—0.0357	—0.0030	2.0358	—1.241	—1.245
				— 4	
100	—0.0210	—0.0017	2.0210	—1.263	—1.265
				— 2	
110	+0.0214	+0.0018	1.9787	—1.312	—1.310
				+ 2	
120	0.0862	0.0071	1.9144	—1.333	—1.323
				+ 10	
130	0.1657	0.0136	1.8365	—1.240	—1.223
				+ 17	
140	0.2504	0.0204	1.7548	—0.944	—0.924
				+ 20	
150	0.3299	0.0267	1.6790	—0.417	—0.406
				+ 11	
160	0.3947	0.0318	1.6181	+0.244	+0.236
				— 8	
170	0.4370	0.0351	1.5783	0.812	0.783
				— 29	
180	0.4517	0.0363	1.5647	1.038	1.000
				— 38	

В случае нечетной функции придется воспользоваться при вычислении исходных значений разложением в ряд Тейлора.

По заданным двум значениям $\bar{y}_0$ и $\bar{y}_1$, находим все последующие значения особой функции $\bar{y}$ и убеждаемся в симметричности функции относительно точки $x = 90°$, ибо четная функция Матье имеет период 180°. В последнем столбце таблицы приведены значения функции Матье после перехода от особой функции к обыкновенной, согласно формуле (22).

При увеличении точности вычислений естественно нужно уменьшать интервал интегрирования, чтобы избежать влияния высших порядков. При уменьшении интервала вдвое влияние шестой разности, которым мы пренебрегаем в процессе экстраполирования, уменьшится в 64 раза, т. е. приблизительно можно будет повысить точность на два знака. Таким образом, семизначные вычисления функции Матье возможно вести с интервалом

$$\omega = 2°.$$

Не представляет никаких затруднений после интегрирования вычислить дополнительно влияние отброшенных членов шестого и последующих порядков.

В одну из задач Института прикладной и вычислительной математики НИС ВСНХ организуемого в Ленинграде входит вычисление функций Матье и других функций, пользуясь изложенным выше методом численного интегрирования, что представляет значительные преимущества перед вычислениями с помощью рядов, часто практически плохо сходящихся. Более подробное изложение методы в настоящее время печатается.

Астрономический институт и
Сектор прикладной математики Гос. опт. инст.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1932

BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS

Classe des sciences mathématiques et naturelles

Отделение математических и естественных наук

CONTRIBUTION TO THE PHOTOMETRICAL THEORY OF THE LUNAR ECLIPSES

By V. FESENKOV (B. Fessenkoff)

(*Présenté par* A. Belopolskij, *membre de l'Académie des Sciences*)

1. It is well known, that the illumination of the Moon during the total eclipses is due to the solar rays bending into the cone of Earth's shadow after passing through the Earth's atmosphere. Therefore it is necessary to investigate the behaviour of a ray of light which passes at different distances from the Earth's surface.

The astronomical refraction and the corresponding absorption are little influenced by the constitution of the atmosphere at different heights above the sea level if the observation is made from the Earth's surface at a moderate zenithal distance. On the contrary if the rays are passing through the whole atmosphere at different heights it is necessary to take into consideration the real conditions in the atmosphere as they are known from direct meteorological investigation.

Let us introduce the auxiliary quantities, so called factors of refraction,

$$k_1 = -\frac{rn'}{n}; \quad k_2 = -\frac{r^2 n''}{n}; \quad k_3 = -\frac{r^3 n'''}{n} \quad \text{etc.} \qquad (1)$$

$$n^{(\lambda)} = \frac{d^\lambda n}{dr^\lambda},$$

where n is the index of refraction at the distance r from the Earth's center. If, now, ζ — the angle formed by the tangent to the ray of light trajectory and the corresponding radius-vector and ζ_0 — the analogous quantity

for $r = r_0$, then the difference $\zeta - \zeta_0$ may be developed into the series as follows

$$\zeta - \zeta_0 = \sum_1^\infty \frac{1}{\lambda!}\left(\frac{d^\lambda \zeta}{d\varphi^\lambda}\right)_{r=r0} \varphi^\lambda, \tag{2}$$

φ being the angle between r and r_0. The evident relations

$$\frac{dr}{d\varphi} = r \operatorname{ctg} \zeta \quad \text{and} \quad rn \sin \zeta = \text{const}$$

lead immediately to the first derivative $\frac{d\zeta}{d\varphi}$

$$\frac{d\zeta}{d\varphi} = -1 - \frac{r}{n}\frac{dn}{dr} = -1 + k_1.$$

Calculating the successive derivatives of ζ by φ we obtaine the following expression of refraction

$$\begin{aligned} R = \zeta - \zeta_0 + \varphi = {} & k_1 \varphi + (k_1 + k_1^2 + k_2) \operatorname{ctg} \zeta_0 \frac{\varphi^2}{2} + \\ & + [(1 - k_1)(k_1 + k_1^2 + k_2) + (2k_1 + 3k_1^2 + 4k_2 + \\ & + k_1^3 + 2k_1 k_2 + k_3) \operatorname{ctg}^2 \zeta_0] \frac{\varphi^3}{6} + [(5k_1 + 3k_1^2 + 11k_2 - 6k_1 k_2 + \\ & + 3k_3 - 7k_1^3 - 5k_1^4 - 9k_1^2 k_2 - 3k_2 k_3 - k_2^2) \operatorname{ctg} \zeta_0 + \\ & + (6k_1 + 10k_1^2 + 18k_2 + 5k_1^3 + 12k_1 k_2 + 9k_3 + k_1^4 + 3k_1^2 k_2 + \\ & + k_1 k_3 + 2k_1^2 + k_4) \operatorname{ctg}^3 \zeta_0] \frac{\varphi^4}{24} + \cdots \end{aligned} \tag{3}$$

Each successive term in this series becomes more and more complicated. I have taken 4 terms only. As the series is developed according to cotangents of ζ it is well adapted to calculate the horizontal refraction at different levels. The calculation of the refraction factors k_1, k_2... may be performed in a very simple way for every supposition with regard to the constitution of the atmosphere. The differential equation of equilibrium of the atmosphere is the following

$$\frac{1}{\rho_0}\frac{d\rho}{dh} = -\frac{\rho}{\rho_0}\frac{1}{\tau}\left(\frac{g}{\gamma} + \frac{d\tau}{dh}\right), \quad g = g_0\left(\frac{a}{a+h}\right)^2, \tag{4}$$

where ρ is the density at the height $h = r - a$, ρ_0 — the density at the sea level, τ — the temperature in abs. Centigrade, g — the acceleration of gravity and γ — the constant. According to the results of meteorological investigations we may adopt the following scheme of temperature distribution

in the free atmosphere approaching to the winter conditions in temperate latitudes. At the sea level and up to 2 km the temperature is constant and equal to —5° C; then the temperature is decreasing linearly with the rate of 5°.83 C per km up to 11 km where it becomes —57°.5 C; in the stratosphere the temperature is practically constant. I suppose however, that it decreases but with the constant gradient —0°.33 C per km. Integrating (4) we have the ratio $\frac{\rho}{\rho_0}$ for every height up to 100 km. The density at the sea level for $\tau = -5°\,C$ and $p = 760$ mm is equal to 0.0013176. As the successive derivatives $\frac{d\rho}{dh}$ etc. may be calculated, we have also

$$k_1 = -\frac{(a+h)\,c\,\frac{d\rho}{dh}}{1+c\rho}; \quad k_2 = -\frac{(a+h)^2\,c\,\frac{d^2\rho}{dh^2}}{1+c\rho}; \quad \text{etc.}$$

It is to be noted that the refraction may be obtained from the analogous series

$$r - r_0 = \sum_1^\infty \frac{1}{\lambda!}\left(\frac{d^\lambda r}{d\varphi^\lambda}\right)_{r=r0} \varphi^\lambda, \qquad (5)$$

representing the expansion of the radius-vector in function of amplitude angle φ. We obtain in analogous way

$$\frac{dr}{d\varphi} = r\,\mathrm{ctg}\,\zeta; \quad \frac{d^2r}{d\varphi^2} = r\,[(1-k_1)+(2-k_1)\,\mathrm{ctg}^2\zeta];$$

$$\frac{d^3r}{d\varphi^3} = r\,[(5-8k_1+k_1^2-k_2)\,\mathrm{ctg}\,\zeta+(6-8k_1+k_1^2-k_1^3-k_2)\,\mathrm{ctg}^3\zeta];$$

$$\frac{d^4r}{d\varphi^4} = r\,[(1-k_1)(5-8k_1+k_1^2-k_2)+$$
$$+(28-71k_1+31k_1^2-15k_2-2k_1^3+5k_1k_2)\,\mathrm{ctg}^2\zeta+$$
$$+(24-58k_1+22k_1^2-k_1^3+4k_1k_2-14k_2-k_3)\,\mathrm{ctg}^4\zeta];$$

etc.

Then the angle ζ may be calculated from the expression

$$\mathrm{ctg}\,\zeta = \frac{1}{r}\frac{dr}{d\varphi}$$

and also the refraction from the previous relation

$$R = \zeta - \zeta_0 + \omega.$$

We have exclusively in view the horizontal trajectories corresponding to the adopted initial heights. Consequently we put $\zeta_0 = 90°$. The calculation of the radii-vectors is made for different angles φ per every $0°.5$. But the series just mentioned ceases to be applicable for a certain φ because the coefficients in the termes of higher order increase very rapidly. For a certain limiting value of φ we calculate the corresponding ζ, r and h. Then for this h the factors of refraction must be calculated from our initial formula.

This gives the possibility to form the coefficients of the same series starting from the final point of the first part of the trajectory. Consequently the next part of the trajectory joined to the former may be calculated within the applicability of our series. By this procedure of analytical prolongation the whole trajectory may be calculated up to the point where the refraction is practically absent. For every point of this trajectory corresponding to variation in φ equal to $0°.5$ we have the radii-vectors and the refractions relative to the initial point. I have worked out all the trajectories beginning with that tangential to the Earth's surface up to the height of 41 km as its nearest approach.

Now it is easy to determine the absorption of light corresponding to the same parts of the trajectories. Applying the theory of Laplace it is possible to write that

$$\Delta m = \frac{kfR}{\sin \zeta}, \tag{6}$$

where Δm is the absorption of light in stellar magnitudes, R — refraction under consideration, k — the coefficient of proportionality which is the same for all the trajectories and f — some factor given by the expression

$$f = \frac{n^2 \tau}{\frac{g}{\gamma} + \beta} \cdot \frac{1}{c}. \tag{7}$$

The theory of Laplace admits that the temperature τ is constant for all the atmosphere and, consequently, that the gradient β is equal to zero. Moreover in this theory the gravity, as well as the chemical constitution of the atmosphere i. e. the quantities γ and c are constant. The index of refraction n which is a little different from unity was substituted by Laplace by some mean value.

As it is well known these simplifications hold good in the ordinary case provided that the zenithal distance is not too great. But in the present case when the rays are passing through the free atmosphere at different

heights above the ground we may safely suppose that they are realised only for separate and sufficiently thin layers. For simplicity sake I have determined the thickness of each layer in such a way that within its limits the variation of the angle φ is $0^{\circ}.5$. It follows that the factor f remains constant for each layer, but brusquely changes while passing from one layer to the next one. We calculate f for different layers by (7) in some arbitrary units and by (6) the total absorption expressed in the same unit for every trajectory of the ray. The problem shall be definitly solved if the coefficient of proportionality k is found from the observations. With this purpose I have utilized the observations made by G. Müller on the top of the mountain of Säntis (2500 meters). Müller has deduced the absorption in the atmosphere down to zenithal distance of $88^{\circ}.0$. Let us imagine a horizontal trajectory at the sea level which is consequently tangent to the Earth's surface. At 2500 meters the angle ζ as above designed is $88^{\circ}34'$. Extrapolating the absorption from Müller's table to this zenithal distance with the assumption that the differences of the fourth order remain constant, and taking the reduction to empty space (the coefficient of transparency for Säntis according to Müller is 0.879) we find that the total absorption is 2.86 magn. The comparison of this quantity with that calculated by us for the same trajectory from 2.5 km to infinity gives the value of the coefficient of proportianality which holds good for all the trajectories.

The corresponding results are given in the Table 1.

Table 1

h	R	m	h	R	m	h	R	m
0.0 km	39'.9	6.99	2	29'.0	5.40	12	9'.9	1.35
0.2	38.6	6.80	3	25.4	4.66	14	7.3	0.97
0.4	37.4	6.61	4	23.0	4.12	16	5.0	0.67
0.6	36.2	6.43	5	20.9	3.65	18	3.5	0.47
0.8	35.2	6.25	6	18.9	3.21	21	1.9	0.26
1.0	34.2	6.09	7	17.0	2.82	26	0.8	0.11
1.2	33.2	5.94	8	15.4	2.47	31	0.4	0.05
1.4	32.1	5.80	9	13.8	2.15	36	0.2	0.03
1.6	31.2	5.65	10	12 4	1.86	41	0.1	0.01
1.8	30.3	5.50	11	11.5	1.59			

In the first column is given the height of the trajectory point nearest to the Earth's surface; in the second — the horizontal refraction, and in the third — the corresponding absorption. The last quantities refer to the wave lengths most acting on the retine i. e. to $\lambda = 0.55\ \mu$ approximately. It is evident from this table that the horizontal refraction is connected with the absorption by some linear relation, namely

$$m = a + bR,$$

or putting this in number

$$\begin{aligned} h = 0.0 — 1.8 \text{ km}; \quad & m = 0.81 + 0.155\ R \\ 2 — 11 \text{ km}; \quad & m = -0.81 + 0.213\ R \\ 12 — \infty \text{ km}; \quad & m = 0.134\ R. \end{aligned} \tag{8}$$

Moreover from the Table 1 we obtain by a graphical procedure the derivatives of refraction as a function of the refraction itself. The unit of length is 1 km. The results are given in Table 2.

Table 2

R	$\frac{dR}{dh}$	R	$\frac{dR}{dh}$	R	$\frac{dR}{dh}$	R	$\frac{dR}{dh}$
0′	0.00	8′	1.27	14′	1.50	22′	2.16
1	0.17	9	1.36	15	1.60	23	2.28
2	0.38	10	1.43	16	1.69	24	2.42
3	0.59	11	1.48	17	1.77	25	2.58
4	0.76	11.5	1.49	18	1.84	26	2.75
5	0.90	11.5	1.20	19	1.91	27	2.94
6	1.04	12	1.27	20	1.98	28	3.14
7	1.16	13	1.39	21	2.06		

2. Having in view to determine the quantity of light penetrating into the cone of the Earth's shadow we imagine the following scheme of the phenomenon. Each element $d\sigma$ of the sun's surface sends a bunch of rays which passes through the atmosphere at a certain height above the Earth's surface. Being refracted in the atmosphere the rays fall upon the certain point in the cone of the shadow. As the sun has sensible angular dimensions, the rays from the different parts of its disc pass over the ground at different

heights in the atmosphere where the refraction as well as the absorption are quite different. Besides, the illumination of some surface in the cone of the shadow depends on the dispersion of solar rays. This dispersion is due to two factors. In the first hand to difference in refracting power of the atmosphere for different wave lenghts, and in the second to the difference of refraction at different heights i. e. to $\frac{dR}{dh}$. The dispersion of the first kind we shall not consider here, because our discussion refers to the rays of some determined wave length. But the dispersion of the second kind must be investigated.

Let

$$ds = dudh$$

be the normal section of the bunch of light passing through the atmosphere. After its passage the component du does not change, but dh increases and at the distance l from the Earth becomes

$$dh_1 = dh\left(1 + 2\frac{dR}{dh}l\right),$$

dR being expressed in radians. The illumination changes, therefore, in the ratio

$$\left(1 + 2\frac{dR}{dh}l\right)^{-1}.$$

It is easy to evaluate this quantity. Between the limits of 4—8 km we have approximately

$$\frac{dR}{dh} = 1{,}9 \cdot \frac{\pi}{180.60},$$

and at the Moon's distance

$$1 + 2\frac{dR}{dh}l = 417.$$

The effect of dispersion of this kind is very great for the troposphere as well as for stratosphere. It approximates to zero for considerable heights. The reality of this effect is evident from the following considerations. To the observer placed at the axis of the cone of the shadow the Earth appears as the dark body surrounded by the bright atmospheric ring. In any case the apparent brightness of this ring is not greater than the apparent brightness of the Sun's surface even if the Earth's atmosphere were totally transparent. Now imagine that we gradually decrease the thickness of the

atmosphere, increasing by the same procedure the gradient of refraction. Since through the atmospheric ring passes the same quantity of solar light it may be concluded that the apparent brightness of this ring increases without any limits. However this is quite impossible. In reality in consequence of the dispersion before mentioned the illumination must decreases in the manner that the apparent brightness of the atmospheric ring is constant.

The other way to clear up the existence of the atmospheric dispersion is the following. As it will be shown on the axis of the Earth's shadow fall the rays passing through the layers up to 5 km of height. The other layers of the atmosphere may take part in the eclipse phenomenon by the effect of scattering i. e. the effect of the second order. It results that the apparent area of the bright ring around the Earth is 0.011 of that of the Sun's disc. Therefore in absence of atmospheric absorption the illumination of the Moon in the center of the shadow should be 0.01 of that without the eclipse if the apparent brightnesses of the Earth's atmosphere and the Sun are equal. However for the lower layers up to 5 km the mean total absorption is 9 magnitudes approximately. The maximum of illumination is therefore only $\frac{1}{400\,000}$. On the other hand the direct calculation of the quantity of light passing through these layers, without considering the effect of dispersion, gives only $\frac{1}{1700}$ what is quite unreasonable.

The third demonstration of the great influence of this dispersion represents the increase of the radius of Earth's shadow in comparison with its known geometrical value. At very great elevation above the sea level the absorption is quite insignificant, but the dispersion may neverthless be very considerable. For exemple at the height of 35 km the horizontal refraction is only $0''.22$, and the corresponding absorption 0.03 magn.; the gradient of refraction is $0''.025$ per km, whence at the Moon's distance the reduction of the illumination is 6.6 times i. e. 2 magn. approximately. It is evident that the considerations of this sort are not exact because the nature of the atmosphere at these heights is not known enough. But it is without any doubt that for the lunar eclipses the Earth's radius must be taken several kilometers greater than it is in reality.

3. We will now calculate the illumination inside the Earth shadow.

Let us make the following simplifying suppositions.

The solar disc has the same brightness in all its points; the scattering of light in the Earth's atmosphere is insignificant in comparison with the

direct rays; the thickness of the atmosphere is small as compared with the Earth's radius.

Consider some element of the Sun's surface hidden behind the Earth. The observer imagined at some point inside the shadow can see it at a condition to be radially displaced for the amount of double horizontal refraction equal to its angular distance from the edge of the Earth's disc.

Let us put

r_t — the angular radius of the Earth as seen from the Moon

$r_\odot$ — the angular radius of the Sun

δ — the distance between the centers of the discs of the Earth and the Sun.

The last quantity may be taken with sufficient approximation for the angular distance of the considered element of the Moon from the center of the Earth's shadow. If now r, ψ — the polar coordinates of some element of the Sun, the origine being in the center of the Earth's disc, then for the brightness of some area of the Moon at the eclipse as compared with that without the eclipse, we have

$$j = \frac{1}{\pi r_\odot^2} \iint r dr d\psi [abs] \left(1 + 2\frac{dR}{dh} l\right)^{-1},$$

where l is the distance between the Earth and the Moon and $[abs]$ — the quantity characterizing the transmission power of the atmosphere for the layer with the horizontal refraction R. The latter is defined by the evident relation

$$2R = r_t - r.$$

But evidently

$$[abs] = 10^{-0,8(a+bR)} = e^{-1,84(a+bR)},$$

where a and b are the coefficients given above [see (8)]. For the axis of the shadow ($\delta = 0$) we have

$$j = \frac{2}{r_\odot^2} \int_0^{r_\odot} r dr e^{-1,84(a+bR)} \left(1 + 2\frac{dR}{dh} l\right)^{-1} \qquad (9)$$

If

$$r_\odot > \delta > 0,$$

then

$$j = \frac{2}{\pi r_\odot^2} \int_{r_\odot - \delta}^{r_\odot + \delta} \arccos \frac{r^2 + \delta^2 - r_\odot^2}{2\delta r} e^{-1{,}84(a+bE)} \left(1 + 2\frac{dR}{dh} l\right)^{-1} r\,dr +$$

$$+ \frac{2}{r_\odot^2} \int_0^{r_\odot - \delta} e^{-1{,}84(a+bE)} \left(1 + 2\frac{dR}{dh} l\right)^{-1} r\,dr. \qquad (10)$$

If at last

$$\delta \geqslant r_\odot,$$

$$j = \frac{2}{\pi r_\odot^2} \int_{\delta - r_\odot}^{\delta + r_\odot} \arccos \frac{r^2 + \delta^2 - r_\odot^2}{2\delta r} e^{-1{,}84(a+bE)} \left(1 + 2\frac{dR}{dh} l\right)^{-1} r\,dr \qquad (11)$$

Each of these integrals represents the sum of three integrals extending over a certain region of the atmosphere where the coefficients a and b are constant. These regions are, as it was shown previously, 0—2 km, 2—11 km, 11—∞ km. Taking the values of r through the same intervals, we find the corresponding R and $\frac{dR}{dh}$ from the Table 2 and then the coefficients a, b according to (8). The procedure of mechanical integration is of some difficulty near the upper limit where the function increases very rapidly. I am not able to calculate these integrals with certainty for the edge of the shadow because in this case the most influence belongs to the upper atmospheric layers where $\frac{dR}{dh}$ as a matter of fact is not known. The apparent radius of the Earth as it is observed at the distance $l = 384\,000$ km is adopted as equal to $57'.0$; the radius of the Sun — $16'.0$; the edge of the shadow corresponds to the angle $\delta = 41'.0$.

The results are as follows

δ	0′	5′	10′	15′
	0.000	10.363	27.220	74.91
	3.100	0.525	0.065	0.001
j	$1.48 \cdot 10^{-6}$	$1.82 \cdot 10^{-6}$	$4.16 \cdot 10^{-6}$	$11.4 \cdot 10^{-6}$

The second line gives the value of the second member of our expression (10) if it is multiplied by $\frac{2}{\pi r_\odot^2} e^{-9{,}70}$; the third line — the value of the first member of the same expression after the multiplication by $\frac{2}{r_\odot^2} e^{-9{,}70}$. The illumination at different angular distances from the center of the shadow is given in the last line with the title j. Further for $\delta = 25'$ we find in a ana-

logous way $0.838 \cdot 10^{-4}$ and for $\delta = 41' - 0.4 \cdot 10^{-2}$. The last value is very uncertain.

But the Moon near the phase 0° is equally bright if the difference of albedo in its various parts is not taken into consideration. Therefore these quantities also represent the brightness of the Moon corresponding to different δ and to $\lambda = 0.55\ \mu$. Expressing in stellar magnitudes we have

δ	0′	5′	10′	15′	25′	41′
m	14 58	14.35	13.45	12.26	10.19	6.00

It follows that the illumination of the Moon during the eclipse is surprisingly small and for the central parts of the shadow is faibler than the ash light. Besides in the red light we should obtain considerably greater values what corresponds more to our immediate observation.

The previous discussion shows that the central part of the shadow receives the sun light through the troposphere whose transparence depends entirely on the meteorological conditions. But at the angular distance greater than 15′ from the center the prevalence is taken by the stratosphere optically more stable. The photometrical conditions at the edge of the shadow depend exclusively on the most upper strata of the atmosphere, whose influence is excercised not by absorption, but by the dispersion i. e. by $\frac{dR}{dh}$. This gives new possibilities for investigating the horizontal refraction of the most upper layers namely at the height of 40—60 km. With this purpose the photographical observations must be made with a refractor with long focal distance presumably with a magnifying systeme to secure a sufficiently large scale.

4. It may be shown that the above made supposition about the insignificance of the effect of scattering in the Earth's atmosphere is quite justifiable. With this purpose I have made at Kutchino Astrophysical observatory a series of measures of the brightness of the halation in the annular area of 13 square degrees around the Sun. I have stated that the ratio of the halation brightness to that of the direct Sun rays changes very little with increased zenithal distance at least in the interval between 1 and 5 air masses. In fact this ratio may be taken as sensibly constant and at the time of very fine weather equal to 0.01 approximately. It is very unlikely that the relative brightness of the halation would be considerably greater at air masses of 50—60 atmospheres what correspond to the trajectories of Sun rays passing at small height above the sea level. The reason is that with the increase of the air masses the light gradually becomes of greater wave lengths and in consequence its scattering capacity diminisches.

Now it is easy to see that the scattering effect of the Earth's atmosphere on the illumination of the Moon during the total eclipses as compared with the direct Sun rays passing through the whole atmosphere is the following

$$\frac{hS_1}{S}[disp],$$

where h is the relative halation for the corresponding air masses, S — the annular area around the Sun observed from the Earth's surface, S_1 — the anuular area of the illuminated atmosphere around the Earth as seen from the Moon, and $[disp]$ — the effect of dispersion roughly directly proportional to the distance from the Earth. Taking the «effective» height of the atmosphere as equal to 38 km, we find $\frac{S}{S_1} = 400$; the effect of dispersion is of the same order of magnitude. Therefore the effect of scattering of the whole atmosphere during the eclipse has the same value as h. Its role in the phenomenon is, therefore, quite small.

В. Г. ФЕСЕНКОВ. К ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ЛУННЫХ ЗАТМЕНИЙ

РЕЗЮМЕ

Дан метод определения величины преломления и связанного с ним поглощения для световых лучей в свободной атмосфере на разных расстояниях от земной поверхности. Дана таблица горизонтальной рефракции от уровня моря до 41 км высоты, вычисленная на основании современных представлений о распределении температуры на больших высотах. Получена связь между рефракцией и поглощением.

При помощи этих данных вычислена освещенность лунного диска на разных угловых расстояниях от оси конуса земной тени по отношению к освещенности вне затмения для лучей длиной волны в 0.55 μ. Найдено, что главное влияние оказывает дисперсия в земной атмосфере, зависящая от различия рефракции на разных высотах. Наличие этой дисперсии обусловливает увеличение радиуса земной тени, наблюдаемое во время затмений. С другой стороны, рассеяние света в земной атмосфере оказывает на яркость затмений ничтожное влияние, лежащее в пределах погрешностей фотометрических наблюдений.

Наблюдения над центральными частями тени не представляют особого интереса, так как яркость соответствующих частей изменяется в зависимости от метеорологических условий в пределах тропосферы. Напротив того, наблюдения над краем тени представляют хорошее средство исследования горизонтальной рефракции в высоких атмосферных слоях.

Москва, октябрь 1931 г.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1932

BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS

Classe des sciences mathématiques et naturelles

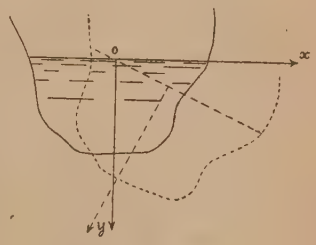
Отделение математических и естественных наук

КОЛЕБАНИЕ ЖИДКОСТИ В ДВИЖУЩИХСЯ ЦИСТЕРНАХ

Г. Е. ПАВЛЕНКО

(*Представлено академиком* А. Н. Крыловым)

1. Представим открытую сверху цистерну произвольной формы, частично заполненную жидкостью и совершающую некоторое периодическое движение произвольного характера, т. е. состоящее как из поступательного, так и вращательного движения в вертикальной плоскости (фиг. 1).



Фиг. 1.

Следствием этого движения будет колебание налитой в цистерну жидкости, сопровождаемое изменением формы ее поверхности.

Такого рода явления имеют место на судах, имеющих жидкие грузы, например, наливных, судах, имеющих балластные, или топливные цистерны и находящихся на взволнованном море.

Движение цистерны считаем заданным, т. е. все последовательные положения и скорости известными.

2. Движение жидкости может быть получено как результат наложения двух движений — одного, которое будем именовать переносным, и тождественного с тем, которое совершала бы жидкость как твердое тело, неподвижно связанное с цистерной, и второго, которое мы будем называть относительным, представляющего движение жидкости кинематически возможное при неподвижной цистерне.

Очевидно, переносное движение является известным из условий задания, и определению подлежит только относительное движение. В самом общем виде уравнения такого движения будут:

$$\xi = x + \xi_1(x, y, t) + \xi_2(x, y, t)$$
$$\eta = y + \eta_1(x, y, t) + \eta_2(x, y, t)$$

где x и y начальные координаты частицы жидкости, соответствующие положению покоя, а ξ и η—координаты смещенной частицы. Значками «1» отмечены смещения частицы от начального положения вследствие переносного движения, а значками «2» то же — вследствие относительного движения.

3. Пользуясь тем, что переносное движение известно, исключим его из рассмотрения, видоизменив постановку задачи следующим способом. Будем представлять цистерну неподвижной, а жидкость совершающей движение под действием периодически меняющихся объемных сил, которые будут состоять из меняющейся по направлению силы тяжести и из сил инерции. Эти силы известны и могут быть введены в виде функций координат частиц воды и времени.

При такой постановке задачи общие уравнения движения должны быть получены в форме:

$$\xi = x + \xi_2(x, y, t)$$
$$\eta = y + \eta_2(x, y, t)$$

4. Займемся сначала исследованием того движения, которое может иметь жидкость в действительно неподвижной цистерне при отсутствии внешних сил, кроме неизменной по величине и направлению силы тяжести. Эти движения мы будем именовать свободными, в отличие от тех, которые происходят под действием периодических внешних влияний и которые мы будем называть вынужденными. Из всех бесчисленных форм возможных свободных колебаний рассмотрим типичные частные случаи простых гармонических колебаний жидкости, т. е. таких, при которых все частицы одновременно совершают колебательное движение по синусоидальному закону с общим для всех частиц периодом и общей фазой. Для того, чтобы каким-либо образом наблюдать за изменением амплитуды колебаний, условимся определять ее амплитудой колебаний какой-либо одной частицы, безразлично какой, например, частицы с начальными координатами x_0 и y_0.

Пусть амплитуда этой частицы (или одна из проекций ее на ось ξ или η) будет равна a. Тогда проекции амплитуды каждой частицы на оси координат будут: Aa и Ba, где A и B различные числа для разных частиц. Такого рода движение определяется уравнениями:

$$\xi = x + A(x, y)\, a \sin(\sigma t + \alpha)$$
$$\eta = y + B(x, y)\, a \sin(\sigma t + \alpha)$$

или, обозначая через q функцию только времени, равную $a\sin(\sigma t + \alpha)$, а через A и B функции только координат частицы:

$$\xi = x + Aq$$
$$\eta = y + Bq.$$

5. Проекции скорости на оси координат:

$$v_x = A(x, y)\, a\sigma\cos(\sigma t + \alpha) = Aq'$$
$$v_y = B(x, y)\, a\sigma\cos(\sigma t + \alpha) = Bq'.$$

Кинетическая энергия движения всей массы воды:

$$T = \frac{1}{2}\oint (v_x^2 + v_y^2)\, dm = \frac{1}{2} a^2\sigma^2\cos^2(\sigma t + \alpha)\oint (A^2 + B^2)\, dm,$$

где dm — масса частицы. Зная, что при крайних отклонениях, соответствующих

$$t = \frac{\pi\left(n + \frac{1}{2}\right) - \alpha}{\sigma},$$

вся кинетическая энергия превращается в потенциальную, а при средних положениях, т. е. при

$$t = \frac{\pi n - \alpha}{\sigma},$$

вся потенциальная энергия превращается в кинетическую, и, что полная энергия представляет постоянную величину не зависящую от времени, можем сразу же написать выражение потенциальной энергии:

$$U = \frac{1}{2} a^2\sigma^2\sin^2(\sigma t + \alpha)\oint (A^2 + B^2)\, dm$$

или, короче:

$$T = \frac{1}{2} Mq'^2$$

$$U = \frac{1}{2}\sigma^2 Mq^2,$$

где:

$$M = \oint (A^2 + B^2)\, dm.$$

6. Введем теперь в рассмотрение заданные объемные силы, которые выразим в функции времени и координат частиц жидкости. Пользуясь методом малых колебаний, мы можем в этом выражении принять начальные координаты частиц, пренебрегая тем влиянием, которое окажут относительные смещения частиц на величину действующих на них объемных сил. К данной частице, имеющей координаты x и y и массу dm, окажется приложенной сила, имеющая проекции:

$$X(x, y)\sin\omega t\, dm \quad \text{и} \quad Y(x, y)\sin\omega t\, dm.$$

За промежуток времени dt каждая частица совершит перемещения вдоль координатных осей:

$$v_x dt \quad \text{и} \quad v_y dt,$$

на что будет затрачена работа внешних сил:

$$(Xv_x dt + Yv_y dt)\, dm \sin\omega t$$

а работа, произведенная внешними силами при перемещении всей массы жидкости, будет:

$$\oint (Xv_x dt + Yv_y dt)\, dm \,.\, \sin\omega t =$$

$$= \oint (AX + BY)\, dm\, q' dt \sin\omega t = Qq' dt \sin\omega t,$$

где:

$$Q = \oint (AX + BY)\, dm,$$

7. Приращение полной энергии движения жидкости за промежуток времени dt равно работе внешних сил за тот же промежуток времени:

$$\frac{d(T+U)}{dt} dt = Qq' dt \sin\omega t$$

$$Mq' q'' + \sigma^2 Mq' q = Qq' \sin\omega t$$

$$q'' + \sigma^2 q = \frac{Q}{M} \sin\omega t.$$

Этот же результат можно получить путем составления уравнения Лагранжа во второй форме, рассматривая q как обобщенную координату движения жидкости.

Отсюда:

$$q = \frac{\frac{Q}{M}}{1 - \left(\frac{\omega}{\sigma}\right)^2} \sin \omega t$$

$$a = \frac{\frac{Q}{M}}{1 - \left(\frac{\omega}{\sigma}\right)^2}.$$

Каков бы ни был период свободных колебаний данного частного вида движения, характеризуемого функцией M, вынужденные колебания такой формы будут иметь период, равный периоду внешних сил, фазу общую (или отличающуюся на π) с фазой этих сил и амплитуду, определяемую по найденной формуле.

8. Вопрос об определении свободных или вынужденных движений жидкости в цистерне сводится таким образом к нахождению таких функций A и B, которые удовлетворяют условиям п. 4. Вид этих функций зависит от размеров и формы цистерны. Считая различными только такие функции, из которых ни одна не может быть получена путем линейного преобразования из других, т. е. между которыми не существует зависимости вида.

$$c_1 A_1 + c_2 A_2 + \ldots + c_n A_n = 0$$

или:

$$c_1 B_1 + c_2 B_2 + \ldots + c_n B_n = 0$$

мы должны заключить, что если по условиям задачи такие функции действительно существуют, то количество различных соответствующих им чисел σ_i, а следовательно и различных множителей q_i должно быть равно числу степеней свободы. Это обстоятельство вместе с возможностью существования колебания по форме каждой пары функций A_i и B_i независимо от других позволяет приписывать величинам q_i значения главных координат системы. В общем случае число степеней свободы, а следовательно и число главных координат, определяемых характеристическими числами σ_i, равно бесконечности.

Пользуясь свойством наложения главных координат можем представить всякое возможное движение жидкости в цистерне при отсутствии переменных по времени внешних сил уравнениями:

$$\xi = x + \sum_{i=1}^{i=\infty} A_i q_i$$

$$\eta = y + \sum_{i=1}^{i=\infty} B_i q_i,$$

где:

$$q_i = a_i \sin(\sigma_i t + \alpha_i);$$

постоянные a_i и α_i определяются по начальным условиям.

9. Под действием периодической внешней силы определяемой в декартовых координатах величинами X и Y, а в координатах q_i величинами Q_i, жидкость будет совершать периодическое движение с периодом внешней силы. Форма этого движения может быть представленн наложением движений по отдельным координатам:

$$\xi = x + \sum_{i=1}^{i=\infty} A_i a_i \sin \omega t$$

$$\eta = y + \sum_{i=1}^{i=\infty} B_i a_i \sin \omega t.$$

Для того, чтобы всякое возможное движение данной системы могло быть не только формально, но и физически представлено уравнениями этого вида, необходимо, чтобы последовательность этих функций A_i и B_i являлась полной и замкнутой системой ортогональных функций.

10. Число этих функций, которые мы будем именовать фундаментальными функциями, может быть в отдельных частных случаях принято конечным. Например, если сосуд, в котором находится жидкость, представляет пару сообщающихся вертикальных трубок, поперечные сечения которых малы, вполне уместно в ряде практических вопросов не интересоваться искажениями поверхности в каждой трубке, а рассматривать лишь изменения средней высоты уровней. В такой постановке задача относится к системе с одной степенью свободы. Подобным же образом три сообщающиеся трубки могут рассматриваться, как система с двумя степенями свободы.

Число степеней свободы бесконечно во всех тех случаях, когда площадь свободной поверхности настолько велика, что искажение ее формы включается в рассмотрение.

Отыскание фундаментальных функций в каждом отдельном случае производится путем нахождения решения общих уравнений гидромеханики, удовлетворяющего граничным условиям на стенках цистерн и на свободной поверхности. В большинстве случаев, все фундаментальные функции могут быть представлены общим выражением, в которое входит характеристическое число σ, способное принимать ряд вполне определенных значений. В других случаях систему фундаментальных функций можно подразделить на группы каждая из которых будет обладать этим свойством.

11. В качестве примера рассмотрим наиболее важный в прикладном отношении случай цистерны, имеющей форму прямоугольного параллелопипеда и движущейся в плоскости, параллельной одной из своих боковых стенок. Так как движение жидкости вызвано изменением объемных сил и давлений на поверхности стенок и чрезвычайно мало зависит от сил трения, можем считать, что это движение почти не отличается от того, которое имела бы идеальная жидкость при тех же внешних условиях и примем, что скорости движения имеют потенциал, который обозначим через

$$\varphi(x, y, t).$$

12. Отыскивая потенциал частного случая движения, удовлетворяющего условиям периодичности п. 4 и соответствующего характеристическому числу σ, можем написать:

$$\varphi(x, y, t) = \tau(x, y)\sin(\sigma t + \alpha).$$

Так как потенциал скоростей должен удовлетворять уравнению Лапласа, то ему же должна удовлетворять функция τ, т. е.

$$\frac{\partial^2 \tau}{\partial x^2} + \frac{d^2 \tau}{dy^2} = 0.$$

Будем искать решение этого уравнения в форме:

$$\tau(x, y) = f_1(x) f_2(y).$$

После подстановки получаем:

$$-\frac{1}{f_1}\frac{\partial^2 f_1}{\partial x^2} = \frac{1}{f_2}\frac{\partial^2 f_2}{\partial y}.$$

Так как стоящие в обеих частях равенства функции зависят от разразличных переменных x и y, независимых между собой, то равенство обозначает, что каждая из этих частей должна быть равна одному и тому же постоянному числу. По характеру задачи считаем это число положительным и обозначаем через k^2; после этого получаем два уравнения:

$$\frac{\partial^2 f_1}{\partial x^2} + k^2 f_1 = 0$$

$$\frac{\partial^2 f_2}{\partial y^2} - k^2 f_2 = 0.$$

Отсюда:

$$f_1(x) = b \sin(kx + \beta)$$
$$f_2(y) = ce^{ky} + de^{-ky},$$

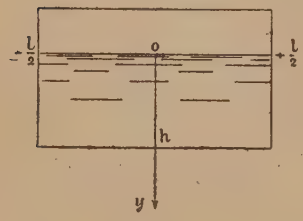
где b, c, d и β — произвольные постоянные.

Таким образом выражение потенциала в нашем случае будет:

$$\varphi(x, y, t) = (ge^{ky} + he^{-ky}) \sin(kx + \beta) \sin(\sigma t + \alpha).$$

13. Подчиним это выражение граничным условиям на поверхности дна и стенок цистерны, для чего зададимся размерами* ее и расположением осей координат так как это изображено на фиг. 2.

Граничные условия напишутся в форме:



Фиг. 2.

$$1) \quad \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y}\right)_{y=h} = 0$$

$$2) \quad \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right)_{x=+\frac{l}{2}} = 0$$

$$3) \quad \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right)_{x=-\frac{l}{2}} = 0.$$

Первое условие дает:

$$ge^{kh} - he^{-kh} = 0,$$

откуда:

$$g = \frac{m}{2} e^{-kh}, \quad h = \frac{m}{2} e^{kh},$$

где m — произвольная постоянная.

* Размер перпендикулярный к плоскости чертежа никакой роли не играет, поэтому положим его для простоты равным 1.

Второе условие дает:

$$\cos\left(k\frac{l}{2}+\beta\right)=0,$$

откуда:

$$\beta=-k\frac{l}{2}+\pi\left(n_1+\frac{1}{2}\right),$$

где n_1 целое число.

Третье условие дает:

$$\cos\left(-k\frac{l}{2}+\beta\right)=0;$$

откуда:

$$\beta=k\frac{l}{2}+\pi\left(n_2+\frac{1}{2}\right),$$

где n_2 целое число.

Объединяя условия второе и третье, получаем:

$$k=\frac{n_3\pi}{l},$$

где:

$$n_3=n_1-n_2$$

и

$$\beta=\frac{\pi}{2}n_4,$$

где:

$$n_4=n_1+n_2+1=n_3+2n_2+1.$$

После этого потенциал скоростей принимает вид:

$$\varphi=m\cosh k(y-h)\left\{\begin{matrix}\sin\\ \cos\end{matrix}\right\}kx\ \sin(\sigma t+\alpha),$$

где k при sin может принимать только нечетные значения: $\frac{\pi}{l}$, $\frac{3\pi}{l}$ и т. д., а при cos только четные: $\frac{2\pi}{l}$, $\frac{4\pi}{l}$ и т. д.

14. Последнее граничное условие состоит в том, чтобы давления на свободной поверхности воды были постоянны. Выражая форму поверхности уравнением: $y=\eta_0(x,\ t)$ и обозначая давления через $p(x,\ y,\ t)$ запишем это условие в форме:

$$p(x,\ \eta_0,\ t)=\text{const}.$$

Уравнение свободной поверхности может быть получено из потенциала скоростей по условию:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial y}_{y=0} = \frac{\partial \eta_0}{\partial t},$$

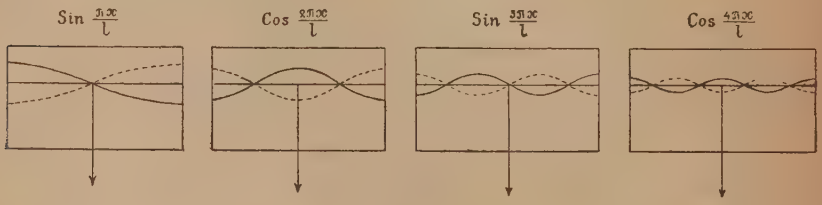
справедливому в пределах допущения о малости движений. Применяя это условие получаем:

$$\eta_0 = a \left.\begin{matrix}\sin \\ \cos\end{matrix}\right\} kx \cos(\sigma t + \alpha),$$

где:

$$a = \frac{mk}{\sigma} \sin kh.$$

Возможные формы колебания поверхности при первых четырех значениях k показаны на фиг. 3.



Фиг. 3.

Потенциал скоростей теперь может быть написан в форме:

$$\varphi = a \frac{\sigma}{k} \frac{\cosh k(y-h)}{\sinh kh} \left.\begin{matrix}\sin \\ \cos\end{matrix}\right\} kx \sin(\sigma t + \alpha,$$

Здесь a — амплитуда точки свободной поверхности у стенки цистерны; эту точку мы будем отождествлять с той точкой п. 4, по которой условливаемся наблюдать амплитуду колебаний жидкости.

Для того, чтобы применить граничное условие, напишем интеграл Лагранжа, связывающий давления с формой движения жидкости и представляющий результат интегрирования основных уравнений гидромеханики при условии существования потенциала скоростей.

$$U - P - \frac{v^2}{2} = \frac{\partial \varphi}{\partial t} + f(t),$$

где U — силовая потенциальная функция; P — функция давлений, связанная с давлением p зависимостью:

$$\frac{dp}{\rho} = dP,$$

где ρ удельная масса, v — полная скорость частицы жидкости, $f(t)$ — произвольная постоянная относительно координат функция времени; эту функцию можно положить равной нулю, не ограничивая общности выражения, так как можно считать ее включенной в потенциал скоростей.

Так как из внешних сил действует только сила тяжести, то можем написать:

$$U = gy.$$

Далее полагаем жидкость однородной и несжимаемой, вследствие чего:

$$P = \frac{p}{\rho}.$$

Вследствие малости движения пренебрегаем членом $\frac{v^2}{2}$, как малым второго порядка по сравнению с остальными членами и окончательно получаем:

$$p = \rho gy - \rho \frac{\partial \varphi}{\partial t}.$$

Применяем условие постоянства давлений на поверхности

$$p(x, \eta_0, t) =$$

$$= a\rho g \begin{Bmatrix} \sin \\ \cos \end{Bmatrix} kx \cos(\sigma t + \alpha) - a\rho \frac{\sigma^2}{k} \operatorname{ctgh} kh \begin{Bmatrix} \sin \\ \cos \end{Bmatrix} kx \cos(\sigma t + \alpha) = \text{const}.$$

Это условие может быть выполнено для всякого x и всякого t, только в случае:

$$\sigma^2 = kg \operatorname{tgh} kh.$$

Таким образом определенному из п. 13 ряду значений k соответствует определенный же ряд характеристических чисел σ:

$$\sigma = \sqrt{\frac{n\pi g \operatorname{tgh} \frac{n\pi h}{l}}{l}},$$

где $n = 1, 2, 3$ и т. д.

15. Составляем выражения проекций скоростей на координатные оси:

$$v_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x} = a\sigma \frac{\cosh k(y-h)}{\sinh kh} \left\{ \begin{matrix} + \cos \\ - \sin \end{matrix} \right\} kx \sin(\sigma t + \alpha)$$

$$v_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y} = a\sigma \frac{\sinh k(y-h)}{\sinh kh} \left\{ \begin{matrix} \sin \\ \cos \end{matrix} \right\} kx \sin(\sigma t + \alpha).$$

Сравнивая эти выражения с общими выражениями, полученными в п. 5, находим фундаментальные функции:

$$A(x, y) = \frac{\cosh k(y-h) \left\{ \begin{matrix} + \cos \\ - \sin \end{matrix} \right\} kx}{\sin h\, kh};$$

$$B(x, y) = \frac{\sinh k(y-h) \left\{ \begin{matrix} \sin \\ \cos \end{matrix} \right\} kx}{\sinh kh}.$$

Для бесконечного ряда значений k получаем систему фундаментальных функций, которая, очевидно, для данного объема является ортогональной, полной и замкнутой.

16. Для того, чтобы найти потенциал скоростей производного движения жидкости, не подверженной действию переменных по времени внешних сил, необходимо задаться начальными условиями для некоторого момента времени, например: $t = 0$. При этом достаточно знать эти условия лишь для свободной поверхности жидкости.

Пусть таковыми будут:

$$\eta_0(x, 0) = f(x); \quad \frac{\partial \eta_0(x, 0)}{\partial t} = f'(x).$$

Каждую из функций f и f' представляем в виде суммы 2-х функций f_1 и f_2, одна из которых нечетная, а другая — четная, пользуясь для этого следующим способом:

$$\frac{f(x) - f(-x)}{2} = f_1(x); \quad \frac{f(x) + f(-x)}{2} = f_2(x),$$

где, очевидно:

$$f_1(x) + f_2(x) = f(x)$$

и точно также для

$$f'(x).$$

Разлагаем нечетные функции в ряд Фурье по синусам *, а четные по косинусам. **

* Возможность принятого здесь разложения произвольной нечетной функции может быть показана следующим образом:

Перенесем начало координат в точку

$$x_0 = -\frac{l}{2};$$

тогда:

$$x = x_1 - \frac{l}{2}; \qquad f_1(x) = f_1\left(x_1 - \frac{l}{2}\right) = \psi(x_1).$$

Функцию ψ имеем право считать периодической с периодом $2l$ и четной относительно x тогда:

$$\psi(x_1) = \sum_{j=1}^{j=\infty} c_j \cos\frac{j\pi x_1}{l}.$$

Но по условию функция f_1 нечетная относительно x, вследствие чего:

$$f_1(x) = -f_1(-x);$$

или:

$$f_1\left(x_1 - \frac{l}{2}\right) = -f_1\left(\frac{l}{2} - x_1\right).$$

Отсюда

$$\psi(x_1) = -\psi(-x_1 + l).$$

При этом должно иметь место для всякого j:

$$c_j \cos\frac{j\pi x_1}{l} = -c_j \cos\frac{j\pi(-x_1 + l)}{l}.$$

Для нечетных j это равенство обращается в тождество при всяком c_j; для четных же оно оказывается возможным только при $c_j = 0$.

Следовательно:

$$\psi(x_1) = \sum_{j=1,\,3,\,5\ldots} c_j \cos\frac{j\pi x_1}{l} = f_1\left(x_1 - \frac{l}{2}\right).$$

Подставляя теперь

$$x_1 = x + \frac{l}{2},$$

получаем:

$$f_1(x) = \sum_{j=1,\,3,\,5\ldots} c_j \cos\left(\frac{j\pi x}{l} + \frac{j\pi}{2}\right) = \sum_{i=1}^{i=\infty} a_i \sin\frac{2\left(i - \frac{1}{2}\right)\pi x}{l}.$$

** Отсутствие первых (постоянных) членов разложения объясняется неизменностью объема жидкости. Так как:

$$\int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} f(x)\,dx = 0 \quad \text{и} \quad \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} f(-x)\,dx = 0,$$

$$f_1(x) = \sum_{i=1}^{i=\infty} a_i \sin \frac{2\left(i-\frac{1}{2}\right)\pi x}{l}; \quad f_2(x) = \sum_{i=1}^{i=\infty} b_i \cos \frac{2i\pi x}{l};$$

$$f_1'(x) = \sum_{i=1}^{i=\infty} a_i' \sin \frac{2\left(i-\frac{1}{2}\right)\pi x}{l}; \quad f_1'(x) = \sum_{i=1}^{i=\infty} b_i' \cos \frac{2i\pi x}{l}.$$

Уравнение поверхности для всякого момента времени t будет:

$$\eta_0(x, t) = \sum_{i=1}^{i=\infty}\left[a_i \sin \frac{2\left(i-\frac{1}{2}\right)\pi x}{l} + b_i \cos \frac{2i\pi x}{l}\right]\cos \sigma_i t +$$

$$+\sum_{i=1}^{i=\infty}\left[\frac{a_i'}{\sigma_i} \sin \frac{2\left(i-\frac{1}{2}\right)\pi x}{l} + \frac{b_i'}{\sigma_i} \cos \frac{2i\pi x}{l}\right]\sin \sigma_i t.$$

17. Перейдем теперь к случаю цистерны, совершающей колебательное движение. В общем случае это движение может быть задано уравнениями движения какой-либо одной точки и одним уравнением поворотного движения вокруг этой точки. В качестве такой точки примем начало координат $x = 0$, $y = 0$. Пусть требуемые уравнения будут:

$$\xi_1 = \xi_0 \sin \omega t, \ \eta_1 = \eta_0 \sin \omega t, \ \Theta = \Theta_0 \sin \omega t.$$

Фазу всех слагаемых движений цистерны выбираем общий для сокращения выкладок; более общий случай различных фаз не вносит никаких добавочных затруднений.

то и:

$$\int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} f'(x)\,dx = 0 \quad \text{и} \quad \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} f'(-x)\,dx = 0.$$

Откуда:

$$a_0 = \frac{1}{l}\int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} f_1(x)\,dx = \frac{1}{2l}\int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} [f(x) - f(-x)]\,dx = 0.$$

и подобным же образом:

$$b_0 = a_0' = b_0' = 0.$$

Переносное движение какой-угодно частицы определится уравнениями:

$$\xi = x + \xi_0 \sin \omega t - y\,\Theta_0 \sin \omega t$$
$$\eta = y + \eta_0 \sin \omega t + x\,\Theta_0 \sin \omega t.$$

Скорости этих частиц:

$$v_x = \xi_0\,\omega \cos \omega t - y\,\Theta_0\,\omega \cos \omega t$$
$$v_y = \eta_0\,\omega \cos \omega t + x\,\Theta_0 \cos \omega t.$$

Ускорения:

$$v_x' = -\xi_0\,\omega^2 \sin \omega t + y\,\Theta_0\,\omega^2 \sin \omega t$$
$$v_y' = -\eta_0\,\omega^2 \sin \omega t - x\,\Theta_0\,\omega^2 \sin \omega t.$$

Силы инерции:

$$-v_x'\,dm = (\xi_0 - y\,\Theta_0)\,\omega^2 \sin \omega t\,dm$$
$$-v_y'\,dm = (\eta_0 + x\,\Theta_0)\,\omega^2 \sin \omega t\,dm.$$

Изменение направления силы тяжести при наклонении будем учитывать введением периодической составляющей по оси X-ов:

$$g\,dm\,\Theta_0 \sin \omega t.$$

Таким образом, проекции амплитуды ускорений сил действующих на частицу жидкости (см. п. 6) будут:

$$X(x, y) = \xi_0\,\omega^2 - y\,\Theta_0\,\omega^2 + g\,\Theta_0$$
$$Y(x, y) = (\eta_0 + x\,\Theta_0)\,\omega^2.$$

18. Для решения задачи о вынужденных движениях жидкости мы должны составить во-первых интеграл M (п. 5) и во-вторых, интеграл Q (п. 6):

$$M = \oint (A^2 + B^2)\,dm = \varrho \int_0^h \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} (A^2 + B^2)\,dx\,dy.$$

Подставляем значения A и B из п. 15:

$$M = \frac{\rho}{\sinh^2 kh} \int_0^h \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} \left[\cosh^2 k(y-h) \begin{Bmatrix} \cos^2 \\ \sin^2 \end{Bmatrix} kx + \right.$$

$$\left. + \sinh^2 k(y-h) \begin{Bmatrix} \cos^2 \\ \sin^2 \end{Bmatrix} kx \right] dx\, dy = \frac{\rho l}{2k \operatorname{tgh} kh}$$

$$Q = \oint (AX + BY)\, dm = \rho \int_0^h \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} (AX + BY)\, dx\, dy =$$

$$= \frac{\rho}{\sinh kh} \int_0^h \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} \left[(\xi_0 \omega^2 + g\Theta_0 - y\Theta_0 \omega^2) \cosh k(y-h) \begin{Bmatrix} + \cos \\ - \sin \end{Bmatrix} kx + \right.$$

$$\left. + (\eta_0 + x\Theta_0) \omega^2 \sinh k(y-h) \begin{Bmatrix} \sin \\ \cos \end{Bmatrix} kx \right] dx\, dy =$$

$$= \frac{2\rho \sin \frac{kl}{2}}{k^2} \left[\xi_0 \omega^2 + g\Theta_0 + \frac{\Theta_0 \omega^2}{k} \frac{\cosh kh - 1}{\sinh kh} \right].$$

Отсюда:

$$\frac{Q}{M} = \frac{4 \operatorname{tgh} kh \sin \frac{kl}{2}}{kl} \left[\xi_0 \omega^2 + g\Theta_0 + \frac{\Theta_0 \omega^2}{k} \frac{\cosh kh - 1}{\sinh kh} \right].$$

Интересным следствием полученного результата является равенство нулю интеграла Q при нижних значениях тригонометрических функций. Отсюда вытекает, что колебательным движением, (а следовательно и всяким) цистерны невозможно вызвать движений жидкости симметричной формы. Таким образом, искомая форма движения будет состоять только из таких главных движений, для которых

$$k = \frac{\pi}{l}, \quad \frac{3\pi}{l}, \quad \frac{5\pi}{l}$$

и т. д.

19. Движение жидкости в цистерне под влиянием колебательного движения последней определяется периодическим изменением формы поверхности:

$$\eta_0(x,\ t) = \sum_{i=1,\ 3,\ 5\ldots} \frac{4\ \mathrm{tgh}\frac{i\pi h}{l}\sin\frac{i\pi}{2}}{i\pi\left(1-\frac{\omega^2}{\sigma_i^2}\right)}\left[\xi_0\,\omega^2 + g\,\Theta_0 + \right.$$

$$\left. + \frac{\Theta_0\,\omega^2\,l}{i\pi}\,\frac{\cosh\frac{i\pi h}{l}-1}{\sinh\frac{i\pi h}{l}}\right]\sin\frac{i\pi x}{l}\sin\omega t,$$

где:

$$\sigma_i^2 = \frac{i\pi g}{l}\,\mathrm{tgh}\frac{i\pi h}{l}.$$

В частном случае, когда движение цистерны представляется только поступательным, без наклонения, с горизонтальной составляющей амплитуды равной ξ_0 (вертикальная составляющая роли не играет), выражение принимает более простой вид:

$$\eta_0(x,\ t) = \sum_{i=1,\ 3,\ 5\ldots} \frac{4\ \mathrm{tgh}\frac{i\pi h}{l}\sin\frac{i\pi}{2}\,\xi_0\,\omega^2}{i\pi\left(1-\frac{\omega^2}{\sigma_i^2}\right)}\sin\frac{i\pi x}{l}\sin\omega t.$$

20. Полученные решения для случая колебательного движения цистерны можно распространить на случай какого-угодно движения. Для примера возьмем следующую задачу:

Цистерна трогается с места по горизонтальному пути и движение ее определяется выражением:

$$\xi(t).$$

Представляем это выражение в форме:

$$\xi(t) = \int_0^\infty \xi_0(\omega)\sin\omega t\,d\omega.$$

Движение поверхности воды в цистерне определится уравнением:

$$\eta_0(x,\ t) = \sum_{i=1,\ 3,\ 5\ldots} \frac{4\ \mathrm{tgh}\frac{i\pi h}{l}\sin\frac{i\pi}{2}}{i\pi}\sin\frac{i\pi x}{l}\int_0^\infty \frac{\xi_0(\omega)\,\omega^2}{1-\frac{\omega^2}{\sigma_i^2}}\sin\omega t\,d\omega.$$

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1932

BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS

Classe des sciences mathématiques et naturelles

Отделение математических и естественных наук

В КАКУЮ СТОРОНУ ДОЛЖНЫ ВРАЩАТЬСЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ТУРБИНЫ?

Д. А. ГРАВЕ

(*Представлено академиком* А. Н. Крыловым)

1. В настоящей статье я желаю рассмотреть вопрос о влиянии поля вращения земли на гидродинамические движения.

Уже давно замечено, что все вихревые процессы в воде и воздухе, происходящие вокруг вертикальных осей, имеют направление вращения в северном полушарии в сторону обратную движению часовой стрелки, а в южном полушарии в сторону движения часовой стрелки, если смотреть сверху вниз.

Можно произвести эффектный опыт, подтверждающий вращение земли, самыми простыми средствами в домашней обстановке. Когда открывается пробка водосливной трубы ванны, тогда над отверстием водослива образуется воронкообразный вихрь, причем вода на поверхности начинает сливаться в эту воронку, крутясь в то же время у нас в северном полушарии в сторону обратную часовой стрелки. Если бросить на поверхность воды около воронки несколько маленьких кусочков бумаги, то получится картина быстрого вращательного движения этих кусочков в сторону обратную движению часовой стрелки.

2. Из сказанного вытекает, что практичнее строить турбины так, чтобы в северном полушарии они вращались в сторону обратную движению часовой стрелки, ибо тогда вращение земли будет давать добавочный вихрь, увеличивающий действие турбины. Этот вихрь будет подхлестывать турбину. При обратном движении вихрь, происходящий от вращения земли, будет тормозить действие турбины.

Механическая сторона дела ясна из геометрических соображений. При движении турбины против часовой стрелки сила Гаусса-Кориолиса будет

прижимать струйку воды к лопатке турбины. При обратном движении сила Гаусса-Кориолиса будет удалять струйку воды от лопатки.

3. Рассмотрим вопрос математически. Пусть a, b, c суть косинусы углов оси вращения земли с осями правой системы координат, тогда уравнения гидродинамики должны быть изменены прибавкой членов, соответствующих силе Гаусса-Кориолиса и центробежной силе, мы получаем уравнения

$$(1)\quad \begin{aligned} \frac{du}{dt} &= -\frac{\partial(V+P)}{\partial x} + 2\omega(vc - wb) + \omega^2[x - a(ax+by+cz)] \\ \frac{dv}{dt} &= -\frac{\partial(V+P)}{\partial y} + 2\omega(wa - uc) + \omega^2[y - b(ax+by+cz)] \\ \frac{dw}{dt} &= -\frac{\partial(V+P)}{\partial z} + 2\omega(ub - va) + \omega^2[z - c(ax+by+cz)], \end{aligned}$$

где ω угловая скорость вращения земли. Для проверки правильности выбора знаков достаточно рассмотреть частный случай $u > 0$, $v = 0$, $w = 0$, $a = 0$, $b = 0$, $c = 1$.

Умножая уравнения (1) на u, v, w, складывая и интегрируя в предположении, что V и P не зависят явно от времени и движение стационарно, получим

$$\frac{u^2+v^2+w^2}{2} = -V - P + C + \frac{\omega^2}{2}[x^2+y^2+z^2-(ax+by+cz)^2],$$

но

$$x^2+y^2+z^2-(ax+by+cz)^2 = \rho^2,$$

где ρ есть расстояние движущейся точки жидкости от оси вращения земли.

Далее

$$\omega\rho = \delta, \quad u^2+v^2+w^2 = q^2$$

$$\frac{q^2}{2} = -V - P + C + \frac{\delta^2}{2}.$$

Прибавка в правой части члена $\frac{\delta^2}{2}$ показывает, что *поле вращения земли увеличивает все скорости точек жидкости.*

4. Преобразуем уравнения (1) к цилиндрическим координатам, предполагая ось z направленною по вертикали вверх. Она будет осью турбины. Ось x-ов возьмем в горизонтальной плоскости к югу, а ось y-ов к востоку. Тогда, если введем полярные координаты

$$x = r\cos\varphi, \quad y = r\sin\varphi,$$

то увеличение угла φ будет совершаться против движения часовой стрелки, если смотреть сверху вниз.

Пусть движение воды происходит симметрично относительно оси турбины, тогда скорость и давление не зависят от угла φ. Уравнения движения будут

$$\sigma\left(v_z\frac{\partial v_z}{\partial z}+v_r\frac{\partial v_r}{\partial r}\right)+\Omega_z=X_z-\frac{\partial P}{\partial z}$$

$$\sigma\left(v_z\frac{\partial v_r}{\partial z}+v_r\frac{\partial v_r}{\partial r}-\frac{v_\varphi^2}{r}\right)+\Omega_r=X_r-\frac{\partial P}{\partial r} \tag{2}$$

$$\sigma\left(v_z\frac{\partial v_\varphi}{\partial z}+v_r\frac{\partial v_\varphi}{\partial r}+\frac{v_\varphi v_r}{r}\right)+\Omega_\varphi=X_\varphi.$$

Здесь σ плотность воды, X_z, X_r, X_φ проекции объемных сил на направлениях координатных линий, а v_z, v_r, v_z проекции скорости на тех же направлениях.

Так как размеры турбины малы по сравнению с радиусом параллели места, где находится турбина, то центробежную силу, происходящую от вращения земли можно считать постоянною для всех точек турбины. Мы ее присоединим, как это часто делают, к силе тяжести, тогда ($b=0$)

$$\Omega_z=2\omega\sigma a(v_r\sin\varphi-v_\varphi\cos\varphi),\quad \Omega_r=-2\omega\sigma(a\sin\varphi v_z+cv_\varphi)$$

$$\Omega_\varphi=2\omega\sigma[cv_r-a\cos\varphi v_z].$$

При $\omega=0$ возмущающее действие поля вращения земли пропадает. Полный момент вокруг оси турбины выразится формулой

$$N=\int X_\varphi r\,d\tau,$$

где $d\tau=r\,dr\,d\varphi\,dz$.

Для невозмущенного движения получаем

$$X_\varphi=\sigma\left(v_z\frac{\partial v_\varphi}{\partial z}+v_r\frac{\partial v_\varphi}{\partial r}+\frac{v_\varphi v_r}{r}\right)=\frac{\sigma}{r}\frac{d(v_\varphi r)}{dt}.$$

Так как $\omega=\frac{2\pi}{24\cdot 60\cdot 60}=0.0000728$ есть величина малая, то в первом приближении можно предполагать, что к невозмущенному выражению X_φ надо прибавить

$$\Omega_\varphi=2\omega\sigma[cv_r-a\cos\varphi v_z],$$

где взяты невозмущенные значения скоростей v_r и v_z.

Добавочный момент будет

$$\int \Omega_\varphi r\, d\tau = 4\pi\omega c\sigma \int v_r r^2\, dz\, dr, \tag{3}$$

так как интеграл заключающий $\cos\varphi$ и взятый между 0 и 2π равен нулю.

В северном полушарии добавка (3) положительная, ибо $c > 0$. На экваторе $c = 0$ и в южном полушарии $c < 0$. В южном полушарии надо взять обратное вращение турбины, чтобы добавка увеличивала момент около оси.

5. В виду того, что вычисленная мною прибавка (3) незначительна, нет смысла переделывать уже готовые турбины. При постройке же новых полезно заставить турбины вращаться в необходимую сторону. Ведь при конструкции турбин безразлично в смысле затрат денег и труда, в которую сторону направить лопатки.

6. Я должен еще обратить внимание на аналогичное явление из другой области. Мною замечено, что получается известная выгода в смысле скорости колесного парохода, если оба колеса насажены не параллельно, а одно из них *повернуто на полхода лопаток относительно другого*. Хотя увеличение скорости парохода мало, тем не менее, так как насадка колеса в обоих случаях имеет одинаковую стоимость, следует непременно выбирать случай более благоприятный. Разбор этого вопроса будет помещен в печатающемся втором издании моей механики.

21 X 1931.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1932

BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS

Classe des sciences mathématiques et naturelles

Отделение математических и естественных наук

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ РАСТВОРЕННОГО ВЕЩЕСТВА МЕЖДУ ТВЕРДОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ И ЖИДКОЙ ФАЗОЙ

7. Распределение радия между кристаллами азотнокислого бария и его насыщенным раствором, содержащим азотную кислоту при t = 0° и 25°[1]

В. Г. ХЛОПИНА и И. И. ТОЛМАЧЕВА

(*Представлено академиком* В. И. Вернадским)

После того, как нами было изучено распределение радия между кристаллами азотнокислого бария и его насыщенными водными растворами,[2] нами было предпринято изучение этого явления в растворах азотнокислого бария, содержащих азотную кислоту. Последнее было особенно желательно потому, что первоначальные опыты одного из нас показали,[3] что в кислых растворах в осадок переходит значительно бо́льший процент радия, чем нами было впоследствии получено для нейтральных растворов. Поэтому было желательно проверить это наблюдение, применяя более точные методы исследования, чем те, какими мы пользовались при первоначальных наблюдениях.

Для изучения явлений распределения нами применялась та же методика, которая в настоящее время применяется в Химической лаборатории Радиевого института для изучения распределения радиоактивных элементов между кристаллическими осадками и растворами. Для этой цели при двух различных температурах 0° и 25°, при которых обычно производится изучение явлений

[1] 2—см. В. Г. Хлопин, ДАН-А, 1924, стр. 101; Ztschr. f. anorg. u. allg. Chemie, 143, 97, 1925; 2—см. V. Chlopin u. B. Nikitin. ibid., 166, 311, 1927; 3—см. V. Chlopin u. A. Polessitsky, ibid., 1928, 172, 310; 4—см. V. Chlopin, A. Polessitsky u. P. Tolmatscheff, Ztschr. f. phys. Chemie, A, 145, 57, 1929; 5—см. V. Chlopin u. A. Polessitsky, ibid., 145, 67, 1929; 6—см. В. Г. Хлопин и А. П. Ратнер, ДАН-А, 1930, № 27, стр. 723.

[2] V. Chlopin, A. Polessitsky u. P. Tolmatscheff, Ztschr. f. phys. Chemie, A, 145, 1929, 57.

[3] В. Г. Хлопин, ДАН-А, 1924, стр. 101.

распределения в нашей лаборатории, приготовлялись в термостате кислые насыщенные растворы азотнокислого бария. Для получения исходных растворов употреблялись химически чистые азотнокислый барий и азотная кислота фирмы Кальбаум, к которым добавлялось несколько капель раствора радия с таким расчетом, чтобы его концентрация составляла $3—6.10^{-8}$ г, на 1 г исходного раствора, что является наиболее удобным количеством для измерений на электроскопах того типа, который обычно применяется при этих работах в Радиевом институте. Содержание азотной кислоты подбиралось таким образом, чтобы растворимость азотнокислого бария понизилась в 2—2.5 раза. В полученном исходном растворе определялось содержание азотнокислого бария, азотной кислоты и радия; его удельный вес определялся с помощью пикнометра в 10 $см^3$. Для опытов в стеклянные пробирки емкостью около 100 $см^3$, снабженные пришлифованными пробками, отвешивалось 25 $см^3$ кислого исходного раствора радиоактивного азотнокислого бария, насыщенного при 0° или 25°, к которому добавлялось точно взвешенное переменное количество мелко измельченного неактивного азотнокислого бария. Затем пробирка закрывалась пробкой и осадок азотнокислого бария осторожным нагревом на водяной бане переводился в раствор. После этого пробирка помещалась в термостат, при той же температуре, при которой был приготовлен исходный раствор, пробка удалялась и избыток растворившейся соли выкристаллизовывался при энергичном перемешивании стеклянной мешалкой в течение 6 час., после чего получался раствор с таким же содержанием азотнокислого бария и азотной кислоты, как и исходный, тогда как часть радия переходила в осадок. После окончания перемешивания мешалка удалялась, раствору давали отстояться около 20 мин., и из него, не вынимая пробирки из термостата, в стаканчики для взвешивания отбирались по весу пипеткой через ватный фильтр пробы для определения бария, азотной кислоты и радия; по две пробы на каждое определение. Для поддержания постоянной температуры в термостате во время опытов при 0° служил тающий лед, а при 25° электрический нагрев, регулируемый тарморегулятором с электромагнитным прерывателем. Температура опытов оставалась постоянной в пределах $\pm 0.05°$.

Барий определялся в виде азотнокислого, осторожным выпариванием навески раствора на электрической воздушной бане при 80—90° с последующим высушиванием в течении 30 мин. в сушильном шкафу при 120°. Иногда полученный высушиванием при 120° азотнокислый барий вновь растворялся и вторично осаждался в виде сернокислого, осадок отфильтро-

вывался, прокаливался и взвешивался. Оба метода давали практически тождественные результаты, расхождения не превышали 0.02%.

Азотная кислота определялась титрованием 0.1 — n раствором NaOH с фенолфталеином в качестве индикатора. Точность определения составляла около 0.1%.

Радий определялся на электроскопе по эманационному методу; точность определения можно принять около $\pm$ 2%.

Результаты наших опытов над распределением радия между кристаллами азотнокислого бария и его насыщенными растворами, содержащими азотную кислоту, приведены в таблицах 1, 2, 3 и 4.

Таблица 1

Изотерма распределения радия между кристаллами и раствором азотнокислого бария в присутствии азотной кислоты при t=0°

Состав исходного раствора: $Ba(NO_3)_2$—1.933%. HNO_3—2.546%. $Ra(NO_3)_2$—$6.27 \cdot 10^{-6}$% Уд. вес 1.0326.

Объем жидкой фазы в см³	Объем твердой фазы в см³	Содержание $Ra(NO_3)_2$ в г молекулах		Константа по Нернсту $K = \frac{C_k}{C_L}$
		в 1 см³ кристаллов C_k	в 1 см³ раствора C_L	
25.0	—	—	$1.850 \cdot 10^{-10}$	—
25.0	0.0128	$528.8 \cdot 10^{-10}$	$1.574 \cdot 10^{-10}$	335.9
25.0	0.0329	$420.9 \cdot 10^{-10}$	$1.297 \cdot 10^{-10}$	324.6
25.0	0.0667	$317.1 \cdot 10^{-10}$	$0.986 \cdot 10^{-10}$	321.6
25.0	0.1396	$214.5 \cdot 10^{-10}$	$0.625 \cdot 10^{-10}$	343.3
25.0	0.3071	$123.2 \cdot 10^{-10}$	$0.355 \cdot 10^{-10}$	347.0
				334.5

Из приведенных данных видно, что константа держится постоянной в пределах $\pm$ 5%, несмотря на большие колебания в объеме твердой фазы. Азотная кислота, понижая растворимость азотнокислого бария, тем самым вызывает увеличение численного значения константы распределения.

Из величины константы распределения K, может быть вычислен коэффициент кристаллизации $Kf = D = \frac{KC}{d}$, где C содержание в граммах соли бария в 1 см³ насыщенного раствора, а d удельный вес кристаллов.

Таблица 2

Зависимость коэффициента обогащения от процента высевшего азотнокислого бария при $t = 0°$

% осевшего $Ba(NO_3)_2$	% осевшего $Ra(NO_3)_2$	Коэффициент обогащения
7.52	14.91	1.98
17.20	29.90	1.74
29.63	46.70	1.58
42.80	66.22	1.55
67.94	80.80	1.19

Таблица 3

Изотерма распределения радия между кристаллами и раствором азотнокислого бария в присутствии азотной кислоты при $t = 25°$.

Состав исходного раствора: $Ba(NO_3)_2$ — 4.672%, HNO_3 — 3.393%, $Ra(NO_3)_2$ — $5.42 \cdot 10^{-6}$ %. Уд. вес 1.056.

Объем жидкой фазы в см³	Объем твердой фазы в см³	Содержание $Ra(NO_3)_2$ в г молекулах		Константа по Нернсту $K = \frac{C_k}{C_L}$
		в 1 см³ кристаллов C_k	в 1 см³ раствора C_L	
25.0	—	—	$1.630 \cdot 10^{-10}$	—
25.0	0.0315	$129.5 \cdot 10^{-10}$	$1.467 \cdot 10^{-10}$	88.3
25.0	0.0527	$118.0 \cdot 10^{-10}$	$1.381 \cdot 10^{-20}$	85.4
25.0	0.0886	$107.2 \cdot 10^{-10}$	$1.250 \cdot 10^{-10}$	85.7
25.0	0.2057	$80.4 \cdot 10^{-10}$	$0.936 \cdot 10^{-10}$	85.9
25.0	0.2717	$71.1 \cdot 10^{-10}$	$0.846 \cdot 10^{-10}$	85.2
25.0	0.4564	$53.2 \cdot 10^{-10}$	$0.659 \cdot 10^{-10}$	80.8
				85.2

Этот коэффициент D вычисляется для системы азотнокислый барий, азотнокислый радий, азотная кислота и вода для $t = 0°$ в 2.12 и для $t° = 25°$ в 1.31, тогда как для нейтральных растворов он соответственно равен 2.31 и 1.49.

Так как первоначальные опыты над распределением радия в кислых растворах азотнокислого бария производились осаждением переменных

Таблица 4

Зависимость коэффициента обогащения от процента осевшего азотнокислого бария при $t = 25°$.

% севшего $Ba(NO_3)_2$	% севшего $Ra(NO_3)_2$	Коэффициент обогащения
7.99	10.01	1.25
12.66	15.25	1.21
19.26	23.30	1.21
37.14	42.54	1.15
42.53	48.09	1.13
55.62	59.60	1.07

количеств последнего путем прибавления различных переменных количеств азотной кислоты к насыщенному нейтральному раствору азотнокислого бария, то в двух случаях применявшаяся нами методика была изменена. В этих случаях мы также добавляли к насыщенному при 0° нейтральному раствору радиоактивного азотнокислого бария переменное количество азотной кислоты удельного веса 1.152 и после 6-часового перемешивания в пробирке в термостате как обычно отбирали пробы для определения бария, азотной кислоты и радия в полученном растворе. Кроме того в этом случае с помощью пикнометра определялся и удельный вес полученного после осаждения раствора.

Анализ проб производился по тем же методам, как и при основном ряде опытов. На основании результатов анализов производилось вычисление перешедших в осадок количеств азотнокислого бария по формуле:[1]

$$x = \frac{[b - B\,(A + C)] \cdot 100}{(1 - B)\,b},$$

где x — процент осевшего бария, b — вес азотнокислого бария в навеске его нейтрального исходного раствора, взятой для опыта, B — содержание азотнокислого бария в 1г полученного раствора, A — вес исходного раствора и C — вес добавленного количества азотной кислоты.

[1] V. Chlopin u. B. Nikitin, Ztschr. f. anorg. u. allg. Chemie, Bd. 166, 911, 1927.

Количество перешедшего в твердую фазу радия определялось по формуле:[1]

$$y = \frac{[AJ_0 - J_1 (A + C - x)] \cdot 100}{AJ_0},$$

где y — процент осевшего радия, A — вес исходного количества раствора азотнокислого бария, J_0 — количество радия содержащееся в 1г исходного раствора, J_1 — то же для 1 полученного раствора, C — вес прибавленного количества азотной кислоты и x — вес перешедшего в осадок количества азотнокислого бария.

Результаты этих опытов приведены в таблицах 5, 6 и 7.

Таблица 5

Осаждение радиоактивного азотнокислого бария азотной кислотой удельного веса 1.152 при $t = 0^0$.

Состав исходного раствора: $Ba(NO_3)_2$ — 4.720%, $Ra(NO_3)_2$ — $8.66 \cdot 10^{-6}$ %. Уд. вес 1.0398.

Объем жидкой фазы в см³	Добавлено см³ HNO_3 уд. веса 1.152	Удельный вес раствора	% $Ba(NO_3)_2$ в растворе	% HNO_3 в растворе
50.0	—	1.0398	4.720	—
50.0	1.0	1.0385	3.980	0.508
50.0	5.0	1.0350	1.954	2.523

Таблица 6

Объем жидкой фазы в см³	Объем твердой фазы в см³	Содержание $Ba(NO_3)_2$ в г молекулах		Константа по Нернсту $K = \frac{C_k}{C_L}$
		в 1 см³ кристаллов C_k	в 1 см³ раствора C_L	
50.0	—	—	$2.47 \cdot 10^{-10}$	—
50.0	0.1040	$301.2 \cdot 10^{-10}$	$1.87 \cdot 10^{-10}$	161.1
50.0	0.4065	$206.6 \cdot 10^{-10}$	$0.69 \cdot 10^{-10}$	299.5

Понятно, что в этом случае константа распределения не остается постоянной, так как состав раствора сильно меняется.

Таблица 7

Зависимость коэффициента обогащения от процента высевшего азотнокислого бария при $t = 0^0$.

% севшего $Ba(NO_3)_2$	% севшего $Ra(NO_3)_2$	Коэффициент обогащения
13.81	24.87	1.80
53.98	69.23	1.28

Весь изложенный материал можно резюмировать следующим образом

1) Распределение радия между кристаллами азотнокислого бария и его насыщенными растворами, содержащими азотную кислоту, происходит так же как и в нейтральных растворах строго по закону Бертело-Нернста.

2) Численное значение константы, в связи с меньшей растворимостью азотнокислого бария в азотной кислоте заметно больше, чем для нейтральных растворов при той же температуре.

3) Вопреки первоначальным наблюдениям, обогащение радием осадка азотнокислого бария протекает в кислых растворах несколько хуже, чем в нейтральных. При более высокой температуре относительное уменьшение обогащения больше, чем при более низкой.

Химическая лаборатория
Государственного Радиевого
института.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1932
BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS

Classe des sciences mathématiques et naturelles

Отделение математических и естественных наук

ГАЗОВЫЕ СТРУИ ТЯНЬ-ШАНЯ

П. И. ТОЛМАЧЕВА

(*Представлено академиком* В. И. Вернадским)

В настоящей работе мы хотим дать краткую химическую характеристику газовых выходов в Тянь-Шане и наметить те пути, по которым должно пойти дальнейшее исследование этого газоносного района.[1]

Тяньшанская горная система протянулась от горной группы Богдо-Ула на востоке и до хребтов Кара-Тау и Нура-Тау на западе. Общая длина этой горной системы составляет около 2400 км при максимальной ширине до 700 км. Восточная часть Тяньшанской горной системы находится в пределах Китайского Туркестана, тогда как большая, западная часть переходит в пределы СССР, захватывая восточную часть Казакской АССР (Семиречье), всю Киргизскую АССР, восточную часть Узбекской ССР и часть Таджикской республики.

Не вдаваясь в детали геологического описания рассматриваемого района, мы даем лишь краткую характеристику его в этом отношении. Более подробные данные, также как и описание отдельных выходов, связанных с термальными источниками, приведены в статье Н. М. Прокопенко «Термальные источники среднего и восточного Тянь-Шаня»,[2] где также приведена и обширная литература по источникам.

[1] Опубликование этой работы сделалось возможным благодаря тому, что в мое распоряжение заведующим Газовым отделом Геохимического института АН проф. В. Г. Хлопиным были переданы результаты анализов образцов газов района Тянь-Шаня, собранных несколькими партиями под начальством В. Г. Хлопина (1926 г.) (район Ферганской котловины), Новикова (1926 г.) (район Джелал-Абада и Ферганских нефтяных промыслов) и Н. М. Прокопенко (1927—1929 гг.) (все остальные районы). Анализы всех образцов за исключением Джелал-абадских, производились в Газовом отделе рядом сотрудников, фамилии которых указаны в каждом отдельном случае. Всем вышеименованным лицам я пользуюсь случаем выразить здесь свою благодарность.

[2] Материалы по геологии и геохимии Тянь-Шаня, I. Мат. Ком. эксп. иссл., в. 30, Л. 1930.

Главная часть горных хребтов Тянь-Шаня сложена палеозойскими отложениями. Северные цепи, которые являются наиболее древними, характеризуются развитием протерозойских и нижнепалеозойских отложений. В этой области мезозойские и кайнозойские отложения носят почти исключительно континентальный характер. По мере движения к югу протерозойские отложения исчезают, и особо широкое развитие получают среднепалеозойские отложения, наиболее характерные для горных цепей Центрального Тянь-Шаня. В этой области в мезозойских и кайнозойских отложениях намечаются две трансгрессии, одна в юрский период, и другая в верхнемеловую и палеогеновую эпохи.

Интенсивные горообразовательные процессы выражены в Тянь-Шане каледонской, варисцийской и альпийской складчатостью. Каледонская складчатость получила главное развитие в северных цепях, тогда как варисцийская наибольшей силы достигла в центральных дугах. Альпийская складчатость проявляется, как в северных, так и в центральных и южных цепях Тянь-Шаня, характеризуясь глыбовыми передвижениями палеозойских массивов, сжимавших налегавшие на них более молодые породы.

Кроме того, весьма крупное значение имеют в Тянь-Шане интрузии и эффузии изверженных пород, характеризуемые протерозойским, каледонским, варисцийским и альпийским циклами. Наибольшие интрузии грандиоритовой магмы связаны с каледонскими и варисцийскими горообразовательными процессами.

Переходя к газовым выделениям рассматриваемого района следует отметить, что несмотря на большое количество имевшегося в нашем распоряжении аналитического материала он все же страдает известной неполнотой. Во-первых, мы до сих пор не имеем ни одного анализа, относящегося к газовым струям, приуроченным к восточной части Тянь-Шаня. Точно так же весьма беден и материал, относящийся к западной части этой горной системы. Затем безусловно следует отметить, известную разницу в полноте данных для различных типов газовых выделений. Когда проводились исследования газовых струй Тянь-Шаня, то в первую очередь они были направлены на газы, приуроченные к термальным источникам, относительно которых уже имелись литературные указания на их газированность, и это без сомнения объясняет разницу в полноте материала, характеризующего различные типы газовых струй в данном районе.

Лучше всего изучены газы, связанные с термальными источниками северного, среднего и в несколько меньшей степени южного Семиречья. Значительно хуже обстоит дело с газовыми выделениями, приуроченными

к выходам холодных вадозных ключей. Имевшийся в нашем распоряжении материал уже далеко не так полон и поэтому этот тип газовых струй Тянь-Шаня требует еще дальнейшего изучения, в особенности в тех случаях, когда вадозные источники расположены в горных областях. Наконец для газовых выделений нефтяных месторождений в нашем распоряжении имелся лишь крайне незначительный, случайный материал, позволяющий лишь слегка наметить общую характеристику этого типа газовых струй.

Далее нельзя не отметить, что газовые выделения, в тех случаях, когда газ выходит под небольшим давлением, легко обнаруживаются лишь тогда, когда они приурочены к выходам воды или нефти. Поэтому выходы сухих газовых струй по тектоническим трещинам, в том случае если они вообще имеются в Тянь-Шане, легко могли остаться незамеченными. В том случае, если бы для данного района удалось установить присутствие таких выделений, то изучение их состава несомненно представило бы большой научный интерес.

Общим признаком газовых струй Тянь-Шаня, связанных с термальными источниками, является весьма незначительный их дебет, обычно не превышающий нескольких литров газа в час.

Прежде чем переходить к химической характеристике газовых струй Тянь-Шаня, необходимо вкратце, описать методику сбора и анализа газовых проб. Предназначенные для анализа пробы газа отбирались в месте его выхода над водой источника, в том случае если выход газа с ним связан, или над водой насыщенной исследуемым газом, как в случае проб газов нефтяных месторождений. Для сбора проб служили стеклянные бутылки емкостью в 1.2 л, в которых оставлялось около 200 $см^3$ воды в качестве водяного затвора. Пробки склянок заливались замазкой из смеси воска и канифоли и склянки пересылались в Ленинград, где и производился анализ газов.

Анализы почти всех проб выполнены в лаборатории Газового отдела КЕПС и Государственного Радиевого института. Анализ проб сбора 1926—1927 г. производился над водой по методу технического газового анализа по Гемпелю. Сероводород определялся объемным путем, поглощением $^1/_{10}$ норм. раствором иода в иодистом калие. Для поглощения углекислоты употреблялся 33 %-й раствор едкого калия. Тяжелые непредельные углеводороды поглощались при энергичном встряхивании в пипетке с дымящейся серной кислотой, содержащей 25 % SO_3, причем следует заметить, что при этом частично происходит и поглощение высших гомологов метана. Пары SO_3 удалялись при последующей обработке газа раствором КОН. Конец

поглощения определялся перепусканием газа в пипетку, содержащую фосфор, который в присутствии непредельных углеводородов не поглощает кислорода, обычно находящегося, хотя бы и в небольших количествах, во всех пробах газа. Если же поглощение серной кислотой вести до тех пор, пока объем газа не перестанет уменьшаться, то это может повести к значительным ошибкам, так как в этом случае, наряду с непредельными углеводородами, будут полностью поглощены и высшие гомологи метана и мы получим совершенно ложное представление о составе газа.[1] Кислород определялся поглощением фосфором, что одновременно указывало и на окончание поглощения тяжелых непредельных углеводородов, так как высшие гомологи метана не оказывают влияния на реакцию между кислородом и фосфором. Окись углерода определялась поглощением в пипетке с аммиачным раствором полухлористой меди, причем пипетка энергично встряхивалась. Для определения метана и этана смесь газа с воздухом сжигалась над ртутью в пипетке Винклера-Денниса. Для накала платиновой спирали служили 4 аккумулятора. Результаты сожжения контролировались, как по количеству образовавшейся угольной кислоты, так и по количеству не вошедшего в реакцию кислорода. Следует заметить, что этот метод, так же как и другие обычные методы газового анализа, дает возможность определить одновременное присутствие лишь двух предельных углеводородов. Поэтому, особенно в тех случаях, когда приведенное количество этана значительно превышает количество метана, следует считаться с возможностью присутствия в газе и других гомологов метана. При всех анализах по этому методу азот определялся по разности.

Анализ проб сбора 1928—1929 гг. производился уже над ртутью по методу точного газового анализа по Уббелоде и Чако. Одним из главнейших преимуществ этого метода является то, что с момента введения газа в бюретку прибора, построенную по типу бюретки Дрешмидта, весь анализ ведется в замкнутой аппаратуре, что весьма уменьшает возможность ошибок. Другой характерной особенностью этого метода является определение метана и его высших гомологов сожжением над накаленной окисью меди без примеси воздуха или кислорода, с последующим поглощением образовавшейся углекислоты. Так как при этом сожжению подвергается вся проба газа, то возможная ошибка уменьшается в несколько раз по сравнению с другими методами, когда, из-за необходимости добавлять кислород или

[1] Критический обзор применявшейся методики и точности отдельных методов приведен в работе В. Г. Хлопина «Методы газового анализа». Тр. Гелиевого ком., вып. 3а. Ленхимсектор, 1932.

воздух, приходится пользоваться лишь частью неноглощенного остатка газа. Следует оговориться, что в присутствии больших количеств высших гомологов метана метод дает не вполне удовлетворительные результаты, и поэтому он особенно пригоден для анализа тех газов, которые из горючих составных частей содержат один метан, что обычно и бывает у газов источников. Наконец одним из преимуществ этого метода является возможность непосредственного определения суммы азота и благородных газов, для чего достаточно измерения объема оставшегося после сожжения газа.

В прилагаемых таблицах приведены анализы около шестидесяти проб природных газов из рассматриваемого района. Для большей легкости в ориентировании выходы газов сгруппированы по территориальному принципу и перед каждой группой дано название горного хребта или крупной долины, в которой они выходят.

Разбирая приведенный в таблицах материал, можно сказать, что почти все газовые струи Тянь-Шаня могут быть сведены в две основные группы. Первая, и несомненно наиболее характерная для данного района, группа характеризуется почти чистыми азотными струями с заметно повышенным содержанием благородных газов. Этот тип газовых струй широко распространен во всех горных цепях Тянь-Шаня и представлен газами, выделяемыми термальными источниками, весьма многочисленными в данном районе. Так как выходы термальных источников приурочены главным образом к выходам гранитов или находятся в непосредственной близи от них, то тем самым можно полагать, что и азотные газовые струи связаны с гранитными массивами, в области которых и должны производиться дальнейшие поиски газовых струй этого типа. Из других составных частей эти струи часто содержат небольшие количества сероводорода, углекислоты, кислорода и метана. Наиболее чистые азотные струи приурочены к северной части Тянь-Шаня, где газы целого ряда источников, расположенных в Джунгарском Алатау, состоят исключительно из азота с примесью заметных количеств благородных газов и иногда сероводорода. Это наблюдается особенно в тех случаях, когда источники, а следовательно и газы, выходят непосредственно из трещин в массивных породах, в тех же случаях, когда кристаллические породы прикрыты осадочными, наблюдается большая подмесь других составных частей. При рассмотрении газов этого типа, невольно возникает вопрос о том, что так как азотные газовые струи, обогащенные благородными газами, связаны исключительно с термальными источниками, то в свою очередь анализ газов может служить критерием для определения характера источника в данном районе. Следует отметить, что газы этого типа, являю-

Химические анализы газ

№№ по порядку	Название источников	Год опробования	t° воды	H_2S	CO_2
	Джунгарский Алатау				
1	Копало-арасанский, ванна № 1	1927	34	сл.	—
2	Копало-арасанский, ванна № 6	1927	33.5	сл.	—
3	Копальский	1927	23	—	—
4	Ой-сазский восточный	1927	15	—	—
5	Кок-суйский западный	1927	24.5	—	—
6	Кок-суйский восточный	1927	20.5	—	—
7	Тастын-терекский западный, главный грифон	1927	23.7	0.2	1.0
8	Тастын-терекский восточный, грифон № 1	1927	18	—	—
9	Ку, грифон № 2	1926	30	—	0.4
10	Ку, грифон № 3	1926	30	—	0.6
	Долина р. Или				
11	Ключ у почт. ст. Конур-улен, в деревне у мызы	1926	12.5	—	2.8
12	Ключ у почт. ст. Кой-бын, в 300 м от станции	1926	13.5	—	0.4
13	Арасан Аяк-калкан, западный грифон	1926	29	—	0.1
14	Арасан Аяк-калкан, западный грифон	1927	29	—	—
15	Арасан Аяк-калкан, восточный грифон	1927	29	—	—
16	Ключ у с. Чунджа, в 100 м к Ю от деревни	1926	14.5	—	0.8
17	Ключ у с. Чунджа, 1 км к З от деревни	1926	13.5	—	0.6
18	Ключ в ур. Чадай, в 13 км к СВ от с. Чилик (у мельницы)	1926	14.5	сл.	1.0
19	Ключ у с. Чилик, в мельн. саду на р. Щипалке (в 1 км от кожевенного завода)	1926	12.9	—	—
20	Ключ у с. Чилик, в 100 м от мельничного сада на р. Щипалке	1926	12.5	—	—
21	Ключ у маслобойного завода, в 6 км от с. Чилик	1926	11	—	0.4
22	Ключ в с. Узун-Агач, против больницы	1926	12.5	0.2	5.0

Таблица 1

струй Тянь-Шаня

ижел. глеродород	O_2	CO	CH_4	C_2H_6	N_2 + благор. газы	Аналитик
—	сл.	—	—	—	100.0	П. И. Толмачев.
—	сл.	—	—	—	100.0	П. И. Толмачев.
—	сл.	—	—	—	100.0	П. И. Толмачев.
—	сл.	—	—	—	100.0	П. И. Толмачев.
—	сл.	—	—	—	100.0	П. И. Толмачев.
—	сл.	—	1.5	—	98.5	П. И. Толмачев.
—	0.4	—	0.8	—	97.6	П. И. Толмачев.
—	0.2	—	—	—	99.8	П. И. Толмачев.
—	5.4	—	1.9	—	92.3	П. А. Волков и П. И. Толмачев.
—	2.6	—	—	—	96.8	П. А. Волков и П. И. Толмачев
—	12.4	—	1.5	—	83.3	И. Е. Старик.
—	17.6	—	—	—	82.0	П. А. Волков и П. И. Толмачев.
—	0.2	—	—	—	99.7	П. А. Волков и П. И. Толмачев.
—	сл.	—	—	—	100.0	П. И. Толмачев.
—	0.1	—	—	—	99.9	П. И. Толмачев.
—	16.7	—	—	—	82.5	П. А. Волков и П. И. Толмачев.
—	15.8	—	—	—	83.6	П. А. Волков и П. И. Толмачев.
—	1.2	0.1	69.1	—	28.3	П. И. Толмачев.
—	16.5	—	—	—	83.5	И. П. Нагорный.
—	19.4	—	—	—	80.6	И. П. Нагорный.
—	17.6	—	—	—	82.0	И. П. Нагорный.
—	1.0	0.4	35.4	—	58.0	И. П. Нагорный.

№№ по порядку	Название источников	Год опробования	t° воды	H_2S	CO_2
	Заилийский Алатау				
23	Алматинский, главный грифон	1927	31.7	—	—
	Долина р. Чу				
24	Скважина у электростанции в 18 км от г. Фрунзе .	1926	11	—	—
	Александровский хребет				
25	Ключ в соляном ущелье по дороге на курорт Иссык-Ата	1926	11.9	—	0.2
26	Иссык-атинский, некаптированный грифон у беседки	1926	42	—	0.3
	Каратау				
27	Ключ Базар-Бай-булак на р. Карабас	1926	21.5	—	0.8
28	Ключ Турсбек-яулак на р. Карабас	1926	18	—	1.0
29	Ключ на р. Карабас, исток № 4 без названия . .	1926	17	—	1.1
30	Ключ на р. Карабас, (верховье) исток реки, левый берег	1926	18	—	1.2
	Терскей-Алатау				
31	Ключ Кайнатна-Туз, в 6 км: от ст. Кар-кара . .	1926	9	1.6	4.8
32	Ак-суйский, ванна № 5	1926	45	—	—
33	Ак-суйский, ванна № 5	1928	43	сл.	0.2
34	Джеты-Огуз, ванна № 2	1926	43.5	—	0.8
35	Кызыл-су, СВ грифон	1926	41.6	—	0.6
36	Кызыл-су, ЮЗ грифон	1926	41.2	—	4.5
37	Кереге-таш (Тонский)	1929	46	0.4	0.5

(Продолжение табл. 1)

яжел. угле-дород	O_2	CO	CH_4	C_2H_6	N_2 + благор. газы	Аналитик
—	сл.	—	—	—	100.0	П. И. Толмачев.
—	16.4	—	—	—	83.6	И. П. Нагорный.
—	8.9	—	—	—	90.9	И. П. Нагорный.
—	0.9	—	13.6	—	85.2	И. П. Нагорный.
—	13.3	—	—	—	85.9	П. А. Волков и И. П. Нагорный.
—	12.5	—	—	—	86.5	П. А. Волков и И. П. Нагорный.
—	16.3	—	—	—	82.6	И. П. Нагорный и Б. А. Никитин.
—	16.6	—	—	—	82.2	И. П. Нагорный и Б. А. Никитин.
—	1.6	—	—	—	92.0	А. Х. Ратнер.
—	1.1	—	—	—	98.9	И. Е. Старик.
—	0.2	—	—	—	99.6	П. И. Толмачев.
—	4.0	—	1.7	—	93.5	П. А. Волков и П. И. Толмачев.
—	0.2	—	0.4	—	98.8	К. А. Маштакова.
—	0.2	—	—	—	95.3	И. Е. Старик.
—	0.5	—	1.5	—	97.2	П. И. Толмачев.

№№ по порядку	Название источников	Год опробования	t° воды	H_2S	CO_2
	Центральный Тянь-Шань				
38	Кайнар-мазар	1929	16	—	0.8
39	Безбельчир	1929	17	—	93.5
40	Алабуга-нарынский	1929	32	—	1.3
41	Ак-терек, северный грифон	1929	18	—	3.0
	Ферганский хребет				
42	Джелал-абадский, грифон № 1	1926	38	сл.	4.0
43	Джелал-абадский, грифон № 3	1926	39	сл.	4.8
45	Джелал-абадский, грифон № 6	1926	38	сл.	4.2
45	Джелал-абадский, грифон № 13	1926	38	сл.	4.4
46	Джелал-абадский, грифон северный	1926	—	сл.	4.8
47	Джелал-абадский, грифон № 22	1929	—	сл.	3.3
	Ферганская долина				
48	Кайнар-Булак, в 6 км от Коканда	1926	15.5	—	0.6
49	Таш-булак, там же, в 200 м от Кайнар-булака	1926	15.3	—	—
50	Айдем-булак, в 5 км от Коканда по дороге в ст. Серово	1926	15	—	0.8
51	Келячи-мазар, на р. Иссугаты в 65 км от Коканда	1926	17	—	1.4
52	Балык-мазар в 3 км к В от кишл. Чорку	1926	18.5	—	1.9
53	Беш-булак в кишл. Изюм-кишлак в 6 км от ст. Посьетовка	1926	—	—	0.8
54	Ключ в кишл. Якатут в 14 км от ст. Посьетовка	1926	—	—	—
55	Нефтяные промысла Шор-Су, скважина № 1	1926	18.7	47.7	2.3
56	Озокеритовые промысла Сель-рохо, продольная шахта № 7	1926	20	сл.	7.3
57	Нефтяные промысла Санто, скважина № 37	1926	41.2	—	3.0
58	Нефтяные промысла Чимионе, скважина № 59	1926	27	—	1.9

(Продолжение табл. 1)

жел. ле- ород	O_2	CO	CH_4	C_2H_6	N_2 + благор. газы	Аналитик
—	16.5	—	—	—	82.7	П. И. Толмачев.
—	0.4	—	—	—	6.5	П. И. Толмачев.
—	2.7	—	—	—	96.0	П. И. Толмачев.
—	8.1	—	—	—	88.9	П. И. Толмачев.
—	—	—	—	—	96.0	В. А. Новиков (Ташкент).
—	—	—	—	—	95.2	В. А. Новиков (Ташкент).
—	—	—	—	—	95.8	В. А. Новиков (Ташкент).
—	—	—	—	—	95.6	В. А. Новиков (Ташкент).
—	—	—	—	—	95.7	В. А. Новиков (Ташкент).
—	0.8	—	9.4	—	86.5	П. И. Толмачев.
—	18.3	—	—	—	81.1	Л. Э. Кауфман.
—	18.8	—	—	—	81.2	Л. Э. Кауфман.
—	16.8	—	—	—	82.4	И. П. Нагорный и Б. А. Никитин.
—	13.7	—	—	—	84.9	Л. Э. Кауфман.
—	12.1	—	—	—	86.0	И. П. Нагорный.
—	17.2	—	—	—	82.0	А. Х. Ратнер.
—	18.3	—	—	—	81.7	Б. А. Никитин.
11.7	1.1	2.5	20.6	7.0	7.0	П. А. Волков и И. П. Нагорный.
1.9	0.4	0.2	41.3	33.7	15.2	И. П. Нагорный и Б. А. Никитин.
3.9	сл.	1.4	33.7	33.6	24.4	И. П. Нагорный и Б. А. Никитин.
3.4	14.7	1.0	0.6	11.6	66.8	И. П. Нагорный и Б. А. Никитин.

щиеся типичными газовыми струями терм пиренейского типа, широко распространены и за пределами Тянь-Шаня, в частности на Алтае и в Забайкалье. Для полноты картины было бы крайне желательно получить анализы газов термальных источников Тянь-Шаня, о газированности которых у нас имеются положительные данные и о которых можно почти наверное сказать, что они являются типичными азотными струями. К этим источникам могут быть причислены Барлыкские, Хоргосские, Джукучакские, Алтын-Арасанчи Бозчук.[1] Далее, в тех случаях, когда до сих пор исследованы газы не всех грифонов, весьма важно получить анализы всех газовых струй на той или иной группе источников. Весьма интересно было бы также найти выходы сухих газовых струй этого типа, но как мы уже указывали в начале, поиски такого рода крайне затруднительны, в особенности если принять во внимание, что эти газы не обладали бросающимися в глаза признаками (горючесть, запах).

Другой тип газов характеризуется воздушными струями, более или менее обедненными кислородом, в которых содержание благородных газов лишь незначительно отличается от содержания их в воздухе. Для газовых струй этого типа характерно содержание небольших количеств углекислоты. Эти выходы связаны главным образом с выходами вадозных источников, расположенных в широких долинах, разделяющих горные цепи Тянь-Шаня, или вдоль окраинных частей самих хребтов. Как мы уже отмечали ранее, этот тип газовых струй исследован значительно хуже предыдущего, тем более, что для источников этого типа почти отсутствуют литературные данные. Все же можно сказать, что по возможности должен быть получен аналитический материал для всех газовых струй данного района для того, чтобы можно было прийти к окончательным выводам. Из источников, газы которых за крайне малым дебитом не могли быть исследованы, хотя по всей видимости и относятся к этому типу, так как сами источники не являются термами, можно указать на один ключ в г. Копале и маленький ключ к северу от почтовой станции Айна-Булак. Кроме того следует указать, что подобные ключи без сомнения находятся и в других частях рассматриваемого района. Газовые струи этого типа повидимому образуются путем механического засасывания атмосферного воздуха вадозными водами, при их просачивании через рыхлые наносы, в которых и происходит обеднение его кислородом.[2]

[1] В настоящее время на основании словесного сообщения проф. В. Г. Хлопина только что произведенные анализы подтвердили принадлежность газов источников Алтын-Арасан и Бозчук к типу азотных газовых струй.

[2] В. Г. Хлопин. Природные газы, их изучение и использование. Природа, № 5 (1930), стр. 477.

Таким образом можно сказать, что оба основных типа газовых струй Тянь-Шаня имеют совершенно определенные области распространения. Первый тип — азотные струи, повидимому генетически связан с гранитными массивами, так же как и выходы термальных источников, к которым он приурочен, и проявляется почти во всех горных хребтах Тянь-Шаня. Второй тип — воздушные струи чрезвычайно характерен для широких долин разделяющих эти хребты.

Следует отметить, что в последнее время наметился как-будто промежуточный тип, между этими двумя основными типами газовых струй Тянь-Шаня, единственным представителем которого в данном районе являются газы источника Ак-Терек, содержащие большое количество кислорода, но которые по содержанию благородных газов должны быть отнесены к азотным газовым струям.[1]

Как раз здесь мы наталкиваемся на те трудности, которые связаны с вопросом о генезисе азотных газовых струй. Для окончательного суждения о том, является ли приносимый ими азот атмосферного или глубинного происхождения, необходимы более полные анализы и в частности определение отношения между азотом, аргоном, неоном и гелием.[2] Существенную роль должны сыграть и анализы растворенных газов.[3] Возможно, что как раз изучение этого промежуточного типа азотно-воздушных газовых струй поможет нам пролить свет на происхождение азота в азотных газовых струях.

Остальные типы газовых струй представлены лишь единичными выходами. Большое количество метана в газах двух источников (Чадай и Узун-Агач) может быть объяснено тем, что эти источники выходят в заболоченной местности. Быть может этому же обстоятельству должно быть приписано и заметно повышенное содержание метана в пробах газов двух термальных источников (Иссык-Атинский и Джелал-Абад № 22), в остальном являющихся типичными азотными струями, правда с ничтожным дебитом.

Газы, выделяемые Безбельчирским источником, до сих пор являются единственным представителем углекислых газовых струй в Тянь-Шане, хотя здесь же следует отметить, что к этому же типу может быть относятся и газы источников Улахол и Тур-Су в Терском Алатау, отлагающих

[1] В 1930 г. у источника Токуз-Булак на Памире были найдены газы совершенно такого же характера.

[2] В. Г. Хлопин. К геохимии благородных газов. ДАН-А (1931); он же, Геохимия редких газов и радиоактивность. Сборник «Природные газы», вып. 2, Стройгаз и Союзгеологоразведка. 1931, стр. 61.

[3] В. Г. Хлопин, l. c.

обширные известковые туфы. Углекислые струи обычно приурочены к более молодым вулканическим областям и представляют последнюю стадию вулканических процессов. Надо сказать, что этот тип газовых струй получает чрезвычайно широкое развитие в более южных горных системах Центральной Азии и становится на Памире преобладающим типом газовых струй.

Наконец, совершенно особое положение занимают газы нефтяных и озокеритовых месторождений Ферганы. Как мы уже заметили, наши данные в этой области еще крайне ограничены для того, чтобы можно было сделать какие-либо окончательные выводы. Однако, уже имеющийся материал показывает, что для всех четырех приведенных образцов, происходящих из различных месторождений, характерно очень высокое содержание высших гомологов метана. Совершенно своеобразными являются газы выделяющиеся на Шор-Су. Во-первых, для них характерно чрезвычайно высокое содержание сероводорода. Хотя определение сероводорода по употреблявшемуся методу и не может быть признано достаточно точным, но все же найденная цифра, порядок которой во всяком случае верен, заставляет выделить этот газ в совершенно особую группу, сероводородных газовых струй. Точно так же в этой пробе найдено и значительно большее содержание непредельных тяжелых углеводородов. Своеобразный характер месторождений Шор-Су, где в непосредственной близости друг от друга находятся нефть, озокерит и сера, несомненно может объяснить состав этого газа, в котором вероятно наряду с сероводородом должны находиться сероокись углерода и возможно меркаптаны. Во всяком случае необходимо подвергнуть эти газы детальному исследованию по более точным методам, чем пока применявшиеся.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1932

BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS

Classe des sciences mathématiques et naturelles

Отделение математических и естественных наук

О СООТНОШЕНИИ МЕЖДУ КЕМБРИЕМ И ПРОТЕРОЗОЕМ В КУЗНЕЦКОМ АЛАТАУ

А. Н. ЧУРАКОВА

(*Представлено академиком* В. А. Обручевым)

Всем тем, кто следит за историей развития геологических исследований в Сибири, хорошо известен спор относительно возраста древних осадочных свит Кузнецкого Алатау, которые одними исследователями принимаются за протерозой с лежащими на нем небольшими останцами кембрия, а другими безоговорочно принимаются за кембрий и силур.

Насколько запутан в настоящее время этот, по существу несложный вопрос, видно из того, что даже лицам, внимательно изучавшим литературу, трудно в нем разобраться и придти к одному выводу.

Так, с одной стороны, В. А. Обручев считает, что Кузнецкий Алатау действительно сложен докембрийскими отложениями, которые некогда были покрыты кембрийскими осадками (6); точно также и М. А. Усов принимает не только докембрийский возраст древних толщ Кузнецкого Алатау, но и наличие в них докембрийской складчатости, признавая вместе с тем присутствие кембрия в некоторых его частях (8, 9). Но, с другой стороны, А. А. Борисяк, признававший раньше протерозойский возраст древних толщ Кузнецкого Алатау, в настоящее время поколебался и в своей новейшей сводной работе, включив описание этих осадков в главу «протерозойская эра», вместе с тем отмечает вероятность их кембрийского возраста (2, 3).

Этот спор, возникший в 1925 г., привел нас к тому, что теперь, когда прошло почти четверть века с момента постановки непрерывных систематических исследований в этой части Сибири, теперь, когда трудами многих исследователей накоплен большой фактический материал,—мы стоим в бессилии перед невозможностью составить сводную геологическую карту юго-восточной части Западносибирского края, так как оказалось, что у нас еще не решены окончательно даже основные вопросы стратиграфии и тектоники.

В 1930 и 1931 гг. Институт геологической карты ГГРУ, понимая серьезность создавшегося положения, дважды назначал поездку особой комиссии в Кузнецкий Алатау и на западный склон Восточного Саяна для решения возникшего спора; но эти поездки к сожалению не состоялись.

На предстоящий 1932 г. Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт Союзгеоразведки (ЦНИГРИ) вновь наметил поездку такой комиссии, и надо приложить все усилия к тому, чтобы на этот раз такая поездка не была отложена.

Настоятельная необходимость решения этого спора диктуется тем, что в 1932 г. ЦНИГРИ приступает к составлению многотомной «Геологии Союза», в которой описание геологического строения этой части Сибири займет не последнее место. Было бы очень неудобно давать в этом издании одностороннее освещение геологии Кузнецкого Алатау и обоих Саянов; но еще неудобнее сознаваться в том, что основные вопросы у нас еще не выяснены,—тем более, что 1932 г. совпадает с 25-тилетним юбилеем непрерывных геологических исследований в Кузнецком Алатау (11).

Для правильного и всестороннего освещения этого вопроса, а также для облегчения работы предстоящей комиссии необходимо, чтобы каждая сторона дала подробное геологическое описание тех пунктов в Кузнецком Алатау и обоих Саянах, где вопрос мог бы быть решен. Исходя из таких соображений, я уже опубликовал описание с геологическими карточками и разрезами для трех наиболее показательных участков Кузнецкого Алатау (10). Настоящая заметка представляет небольшое, но очень существенное дополнение, относящееся к новому, четвертому участку и доказывающее правильность моих выводов.

Дело в том, что камнем преткновения в возникновении спора является главным образом то обстоятельство, что трансгрессия среднекембрийского моря на площади современного Кузнецкого Алатау произошла так быстро, что это море не успело образовать ни прибрежной фации, ни базального конгломерата. Вследствие этого кембрийские известняки, залегающие местами непосредственно на известняках енисейской свиты протерозоя, можно легко принять за одну непрерывную толщу осадков при недостаточно внимательном наблюдении.

Вообще говоря, случаи весьма быстрых морских трансгрессий, которые не сопровождались образованием прибрежных фаций, давно известны в литературе. Но, поскольку именно этим фактом обуславливается возникновение разногласия, я считаю полезным привести несколько примеров.

Так, Б. Уиллис (B. Willis) описал в Китае очень интересный случай непосредственного налегания глинистых сланцев каменноугольного возраста на размытую, кавернозную поверхность нижне-ордовикских известняков. Многочисленные пустоты в этих известняках, идущие местами параллельно слоистости, заполнены осадками наступившего каменноугольного моря, так что, на первый взгляд, получается картина переслаивания известняков и глинистых сланцев (15, стр. 147—148).

Подобные случаи скрытого несогласия между этими осадками были обнаружены и в других местах Китая.

Весьма полезно напомнить, что на этом китайском примере в свое время споткнулся даже такой крупный исследователь, как Рихтгофен, который не заметил этого перерыва (14), и только наблюдательный тонкий ум Элиота Блеквельдера — талантливого помощника Бейли Уиллиса — вскрыл его ошибку (15, стр. 33, 44, 48).

Второй, еще более показательный пример мы имеем в Канаде, где по наблюдениям E. Kindle и L. Burling ордовикские известняки лежат непосредственно на архейских гранитах. Продуктов выветривания (residual clay) этой суши нет совершенно, кроме редких крупных валунов гранита, а также галек и обломков песчаника, кварца и полевого шпата, сидящих в самом известняке. Две фотографии, приведенные в этой работе, очень поучительны. При этом здесь не только размыт архейский, но совершенно снесен протерозой, который несомненно залегал в свое время на архейском (13).

Наконец, очень интересный случай описал В. Н. Зверев в верховьях Алдана в Томмотском золотоносном районе. По его наблюдениям среднекембрийские «известняки непосредственно залегают на гнейсовой свите. Лишь при устье Элькёна по левому берегу Алдана наблюдается тонкий, не более 5—8 см, выклинивающийся слой своеобразных конгломератов,[1] с мелкой кварцевой галькой и редкой крупной галькой гнейсов» (4).

Во всех этих случаях мы не видим мощных продуктов размыва древней суши.

Я напомню также, что А. М. Кузьминым и мной опубликованы случаи быстрой трансгрессии девонского моря в Кузнецком Алатау (10, стр. 544—545). Не углубляя этого вопроса, отмечу хотя бы учебник И. В. Мушкетова, где приведен ряд подобных примеров (5), а также учебник Э. Ога, где очень хорошо сказано, что в основании трансгрес-

[1] Разрядка моя. *А. У.*

сивно залегающих осадков «часто находятся конгломераты». Часто... но не всегда (7).

Обосновывая для Кузнецкого Алатау идею трансгрессивного залегания среднекембрийских известняков непосредственно на протерозое без промежуточных прибрежных образований и приводя ряд соображений в пользу правильности этой мысли (10, стр. 543), — я отдавал себе полный отчет в том, что я еще не решил этого вопроса окончательно. Я прекрасно понимал, что мне необходимо найти такое место, где в основании известняков среднего кембрия можно было бы видеть или небольшой прослой базального конгломерата или, хотя бы, элювий, включенный в осадки наступавшего моря. Летом 1930 г. мне удалось разрешить и эту задачу. Я решил ее в районе работ Я. С. Эдельштейна (12).

На восточном склоне Кузнецкого Алатау, всего в 32 км к ССВ от д. Б. Ербинской, находится улус Бей-Булук. В 10 км к З от этого улуса и непосредственно к С от дороги, идущей из улуса на ст. Ширá, находится гора Азыр-гаí.[1] Эта гора сложена породами кутень-булукской свиты, прорванными дайками древних диабазов. На юговосточном склоне горы, невдалеке от дороги я обнаружил останец известняков, в которых отсутствуют дайки древних диабазов. В этом известняке мой коллектор В. А. Чивжель нашел трилобита, который по определению Е. В. Лермонтовой представляет *Dorypyge* sp., указывающий, по ее мнению, несомненно на средний кембрий.[2] На югозападной окраине этого среднекембрийского останца, в небольшом логу я обнаружил, правда с большим трудом, в самом основании известняков участки, переполненные окатанными гальками и угловатыми обломками темных и серых известняков. Исследование этих пород под микроскопом, произведенное на 11 больших шлифах (такого размера, какие изготовляются для палеонтологических препаратов) и 10 обыкновенных петрографических шлифах, а также изучение полированных поверхностей кусков породы показало, что мелкокристаллический известняк переполнен обломками известняков, основных лав, кусочками кварца и полевого шпата, среди которых попадаются кусочки кремнистых сланцев. Никаких признаков милонитизации не наблюдается в этих шлифах. Очевидно, перед нами — базальный конгломерат с примесью частиц древнего элювия (см. табл. I). Значит на горе Азыр-Гаí мы имеем замечательный пример автохтонного залегания

[1] На 2-верстной карте, изданной Переселенческим управлением, эта гора имеет искаженное название — Саркая.

[2] Приношу глубокую благодарность Е. В. Лермонтовой за это весьма важное определение.

среднекембрийского известняка на кутень-булукской свите. Этот пример исключает возможность дальнейших сомнений и возражений.[1]

В заключение я должен указать, что по наблюдениям Я. С. Эдельштейна около улуса Бей-Булук среднекембрийские известняки залегают на «мощных массах (покровных) вулканических древнепалеозойских пород» (12). Это указание дало повод И. К. Баженову сопоставить эти эффузивы с теми вулканическими покровами, которые он наблюдал в Западном Саяне в основании кембрия (1). По моим наблюдениям ни около улуса Бей-Булук, ни на г. Азыр-гая нет этих вулканических покровов: среднекембрийские известняки в обоих местах залегают непосредственно на протерозое, причем около улуса они лежат на енисейских известняках, а на горе Азыр-гая — на кутень-булукской свите. Вулканические покровы здесь были, судя по обильным дайкам; но они оказались нацело смытыми задолго до трансгрессии среднекембрийского моря.

Вместе с тем, во избежание недоразумения, я должен указать, что непосредственно к югу от улуса Бей-Булук я наблюдал мощные покровы порфиритов. Но эти покровы лежат на кембрийских известняках и представляют собою верхний силур, т. е. так называемую «оторочку» Кузнецкого Алатау.

При совместном разрешении спорных вопросов стратиграфии Кузнецкого Алатау я считаю необходимым осмотр и окрестностей улуса Бей-Булук вместе с изучением разрезов около ст. Сон, д. Б. Ербинской и ул. Толчея.

Ленинград, декабрь 1931 г.

[1] В подтверждение правильности данных автора о наличии докембрия в Кузнецком Алатау можно привести следующие соображения: так как кембрий в Алатау и Минусинском крае во многих местах дислоцирован очень сильно, то где-нибудь должны же обнаружиться те более древние породы, на которых он отлагался, и полное отсутствие их неправдоподобно Кроме того в Прибайкалье, Западном Забайкалье, Анабарском массиве и Енисейском горсте докембрий имеется и никем не оспаривается, а недавно обнаружен в бассейне р. Маны, т. е. еще ближе к Алатау, И. А. Молчановым под кембрием с окаменелостями. С достаточным основанием докембрий предполагается также на Алтае и кое-где в Киргизской степи. Акад. *В. А. Обручев.*

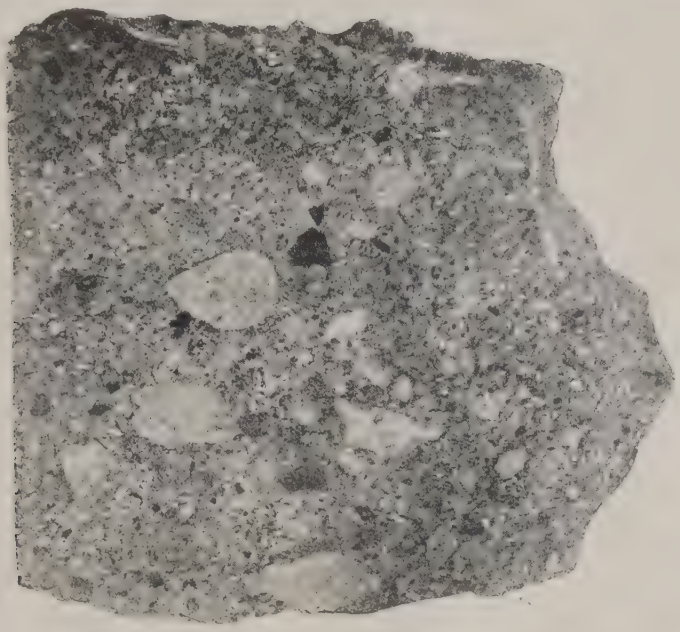
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов, И. К. Геологическое строение стыка между Западным Саяном и Кузнецким Алатау. Изв. Зап.-Сиб. отд. Геол. ком. 1930, т. X, вып. 3, стр. 53.
2. Борисяк, А. А. Геологический очерк Сибири. 1923, стр. 35 и 41.
3. —— Курс исторической геологии. 2-е изд. Гос. Научно-техн. изд. 1931, стр. 72, и табл. I.
4. Зверев, В. Н. Материалы для характеристики Томмотского золотоносного района. Тр. ГГРУ ВСНХ СССР. 1931, вып. 26, стр. 18.
5. Мушкетов, И. В. Физическая геология, т. I. Перераб. и дополн. проф. Д. И. Мушкетовым ГИЗ, 1924, стр. 257—258.
6. Обручев, В. А. 1) Геологическое строение Сибири; 2) Докембрий. Сибирская Советская Энциклопедия, т. I. Сиб. краев. изд., 1929.
7. Ог, Э. Геология, т. I. 1922, стр. 455.
8. Усов, М. А. проф. Очерк геологического строения и полезных ископаемых Сибирского края. Первый Сибирский Научно-Исследовательский Съезд. Материалы к докладам секций. Новосибирск, 1926, стр. 2, п. 12.
9. —— Полезные ископаемые I (Рудные месторождения). Курс лекций, читанный на Горн. факульт. Сиб. Техн. инст. Томск, 1928, стр. 127 и 131.
10. Чураков, А. Н. Современное состояние наших знаний о тектонике и стратиграфии древних отложений южной части Средней Сибири. Изв. Акад. Наук СССР. Отд. мат. и естеств. наук, 1931, №№ 1—4.
11. Эдельштейн, Я. С. Предварительный отчет о геологических исследованиях, произведенных в Ачинском золотоносном округе в 1907 г. Геол. иссл. в золот. обл. Сибири. Енисейский золот. район. Вып. VII, 1909.
12. —— Годовой отчет о работах 1923 г. Изв. Геол. Ком., т. 43, 1924, № 2, стр. 152.
13. Kindle, E. M. and Burling, L. D. Structural Relations of the Pre-Cambrian and Palaeozoic Rocks North of the St. Lawrence Valleys. Canada Geological Survey. Mus. Bull., № 18. Geol. Ser., № 28. 1915, p. 7.
14. Richthofen, Ferd. China. Ergebnisse eigener Reisen und dafür gegründeter Studien. Vol. II, S. 226 und 319.
15. Willis, B.; Blackwelder, E.; Sargent, R. H. Research in China. Carnegie Institution of Washington, 1907, Vol. I, Part I.

ОБЪЯСНЕНИЕ К ТАБЛИЦЕ

Фиг. 1. Полированная поверхность среднекембрийского известняка с обломками и гальками различных пород. Натур. величина. г. Азыр-гая.

Фиг. 2. Шлиф другого образца среднекембрийского известняка с гальками и обломками различных пород. Натур. величина. г. Азыр-гая.



Фиг. 1.

Фиг. 2.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1932

BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS

Classe des science mathématiques et naturelles

Отделение математических и естественных наук

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ ГОРНОЛУГОВЫХ ПОЧВ КРЫМА И КАВКАЗА

Т. Л. СИМАКОВОЙ

(*Представлено академиком* А. А. Борисяком)

По вопросу о распространении и жизнедеятельности бактерий в почвах горных лугов и лесов в литературе имеется очень мало работ.

И. Л. Прасолова[1] (1927) исследовала бурую лесную почву на диорите с южного склона Крымской гряды, с вершины Чамны-Бурун, высота которой достигает 585.7 саж. над уровнем моря, почва взята из под букового леса верхнего пояса. Автор при исследовании на нитрифицирующие бактерии и *Azotobacter* обнаружила и ту и другую группу бактерий.

Е. А. Домрачева[2] (1929) исследовала следующие горнолуговые почвы из Юго-Осетии: 1) горнолуговую альпийскую, высокогорную; 2) горнолуговую субальпийскую; 3) горнолуговую, высокогорную, переходящую в лесную.

Названный исследователь обнаружил в верхних горизонтах горнолуговых почв нитрифицирующие бактерии. Аэробный фиксатор азота *Azotobacter chroococcum* не был обнаружен ни в одной из исследованных почв. Анаэробный фиксатор азота *Clostridium Pasteurianum* был обнаружен на значительную глубину во всех образцах. Разложение клетчатки шло за счет анаэробных бактерий В. Л. Омелянского (*B. cell. hydrogenicus* и *B. cell. methanicus*). Бактерии, разлагающие клетчатку в аэробных условиях не обнаружены. Автор отмечает, что в исследованных почвах преобладают процессы, вызываемые анаэробными бактериями, как то: *Clostridium Pasteurianum* денитрифицирующие *Bact. cell. hydrogenicus* и *Bact. cell.*

[1] И. Л. Прасолова. Дипломная работа (ркп.).

[2] Е. А. Домрачева. К характеристике микробиологических процессов в почвах Юго-Осетии. Тр. по изуч. производит. сил, серия Закавказская, вып. 2.

methanicus. Из аэробных бактерий обнаружены только нитрифицирующие бактерии, *Azotobacter* и бактерии, разлагающие клетчатку в аэробных условиях не обнаружены.

Лопатина[1] (1930 г.) исследовала горные почвы Южного Закавказья. При исследований автор обнаружила в горнолуговых почвах наличие *Clostridium Pasteurianum* и не обнаружила *Azotobacter*'а. В горнолуговых почвах черноземовидной и переходной в коричневую автор наблюдала повышенную нитрифицирующую способность и пониженную в коричневой почве. Анаэробное разложение клетчатки шло энергично в верхних горизонтах исследованных почв. Аэробное разложение клетчатки наблюдалось частично в черноземовидной почве.

Fehér[2] (1930 г.) исследовал почвы лиственных и хвойных лесов субальпийской зоны Венгрии, лежащих на следующих высотах:

1) Почва из-под соснового леса, глинистая на щебне, на высоте 400 м.

2) Почва из-под соснового леса, глинистая на гнейсе, на высоте 350 м.

3) Почва из под лиственных лесов, глинистая на щебне и гнейсе, на высоте 350 м.

Автор указывает, что накопление и содержание нитратов и азота в исследованных почвах зависит от целого ряда причин, как-то: от климатических условий, от состава растительности, от промывания нитратов, от интенсивности деятельности самих бактерий. Минимум накопления азота нитратов находится, по данным Fehér'а, в сентябре, октябре и ноябре месяцах. Максимум падает на ранние весенние месяца. На развитие азотоусвояющих бактерий (*Azotobacter*) в сильной степени влияет актуальная кислотность почвы. Нитрифицирующие бактерии имеют 2 максимума — весенние и осенние месяца. Денитрифицирующие бактерии находятся в тесной связи с нитрифицирующими бактериями. Развитие бактерий, разлагающих целлюлозу, имеет максимум в ранние весенние месяца. Бактерии, разлагающие мочевину, имеют максимум весной и летом. Максимум жизнедеятельности маслянокислых бактерий — летом и поздней осенью. Содержание гумуса зависит от состава физиологических групп бактерий. Большое количество гумуса, как указывает Fehér, наблюдается в осенние месяца, летом же,

[1] Лопатина. Микробилогическая характеристика некоторых горных почв. Тр. Инст. с.-х. микроб., т. IV, 1930.

[2] Fehér, Archiv für Microbiologie, I Bd., H. 3, 1930. 1) Microbiologiche untersuchungen über den Stickstoff-Kreislauf des Waldbodens. 2) Untersuchungen über den zeitlichen Verlauf der Microbentätigkelt im Waldboden.

когда развивается интенсивная деятельность бактерий, гумус быстро разла-ается; при осеннем листопаде в лиственных лесах идет опять-таки накапливание гумуса. Автор приходит к такому убеждению, что, если человек не вмешивается в жизнь почвы, то все микробиологические процессы протекают одинаково во всех исследованных им почвах.

Темой нашей работы было выяснение участия некоторых физиологических групп бактерий в почвообразовании горнолуговых почв. И. Н. Антипов-Каратаев любезно предоставил нам образцы двух почв, описание которых мы проводим.

1) Горнолуговая почва с перевала Псеашхо Кавказского хребта. Высота над уровнем моря 2200 м. Узкий гребень, заросший горным лугом, в составе которого преобладают дернообразователи, как-то: *Nardus stricta* (белоус), очень походит на типец-показатель плохих почв. *Anthoxantum* (душистый колосок), попадается *Viola* (*Ranunculaceae*) (горный василек) — показатель влажности.

A_0 (0—16 см), бурокоричневый, сильно сплетенный в дерн. Сплошная масса корней. Землистая масса мелкозернистая, глинистая.

A_1 (16—30 см), той же окраски, зернистый. Включения — щебень сланца, сплетение корней слабее, глинистый.

B (30—75 см), бурый, комковато-зернистый, глинистый, влажный; щебень покрупнее. Материнская порода — аспидные сланцы.

2) Из Крымского государственного заповедника, вершина г. Б. Чучель (Крым). Горный луг, в составе которого, по описанию Г. И. Поплавской-Сукачевой, преобладают *Alchemilla lepthantha*, *Cytisus polytrichus*, *Polyganum*, *Carex humilis*, *Viola oreades*, *Thymus colieri*, *Pulsatilla Halleri*, *Solidago* и др.

Материнская порода — юрские известняки. Рельеф — недалеко от вершины горы, микропонижение.

На поверхности почвы живой дерн со мхом и остатками растительности. Приводим разрез почвы:

A_1 (5 см), темнокоричневый, пронизанный многочисленными корешками, зернистый, рыхловатый;

A_2 (20 см), серовато-коричневый, угловато-мелкозернистый, рыхлый, глинистый.

A_1 (20 см), темнокоричневый, уплотненный, зернисто-комковатый, глинистый.

Приведем краткую физико-химическую характеристику исследованных почв. Данные для этого любезно предоставлены нам В. Н. Филип-

новой и И. Н. Антиповым-Каратаевым, за что приносим им свою благодарность.

Механический состав крымской почвы

Глубина в см	1—0.25 мм	0.25—0.05	0.05—0.01	< 0.01 мм
0—15	2.75	7.50	29.25	60.50
15—36	нет	1.75	13.50	84.75
57—70	нет	3.75	12.25	84 00

Химические данные для крымской почвы

Глубина в см	Гигр. вода	Гумус	Азот	В % миллиэквивалент. на 100 г сух. поч.			pH	
				Емкость поглощ.	H	Ca=Mg	H_2O	KCl
1—15	6.86	11.018	0.775	33.12	0.36	32.76	5.55	5.32
15—26	6.47	4.764	0.271	27.19	0.46	26.70	5.10	4.60
57—70	8.64	3.229	0.269	—	—	—	7.13	6.90

Химические данные для кавказской почвы

Глубина в см	pH	Ненасыщенность по гидр. кисл. в миллиэквивалент.	
		Y_1	Полная (ух. 4)
2—15	4.63	16.17	64.68
15—25	5.10	10.62	42.48
65—75	4.94	3.2	12.8

К сожалению, недостаток материала лишил возможности сделать более подробный анализ.

Перейдем теперь к рассмотрению данных, полученных при исследовании в вышеуказанных почвах тех физиологических групп бактерий, которые принимают участие в почвообразовании.

Процесс нитрификации. Для обнаружения нитрифицирующих бактерий, вызывающих окисление аммиака до азотистой кислоты и азотистой кислоты до азотной, мы пользовались: 1) жидкой средой Омелянского и Виноградского[1] и 2) кремнекислыми пластинками Виноградского, пропитанными двойной аммонийно-магниево-фосфорнокислой солью. Посев в среду Омелянского и Виноградского производился в количестве 0.5 г почвы. На каждый исследуемый образец ставились 2 контроля. На кремнекислые пластинки, пропитанные двойной фосфорно-аммонийно-магниевой солью, было засеяно по 50 комочков почвы. За появлением азотистой кислоты в жидкой среде наблюдали через 4—5 дней. Реактивами на азотную кислоту служили дифениламин с крепкой серной кислотой, на азотистую — раствор Zn-иод — крахмал + 10% серная кислота и на аммиак — реактив Несслера.

Через месяц наблюдался процесс нитрификации в колбах с засеянными обоими крымскими образцами (0—15 см и 15—30 см). В остальных колбах, засеянных другими исследуемыми образцами, процесса нитрификации не обнаружено, хотя опыт продолжался в течение 4 месяцев. Через $1^1/_2$ мес. на кремнекислых пластинках с посевом образцов крымской почвы был обнаружен процесс 1 фазы нитрификации, т. е. окисления аммиака в азотистую кислоту. Около комочков почвы появился прозрачный ореол, получившийся, благодаря растворению двойной фосфорно-аммонийно-магниевой соли от образовавшейся азотистой кислоты.

При просматривании мазков, с кремнекислых пластинок и из жидкой среды мы наблюдали формы типа *Nitrosomonas*. Через 5 недель после засева было обнаружено окисление азотистой кислоты в азотную в колбах, с засевами крымских образцов с глубины 0—15 см и 15—30 см.

Для определения нитрифицирующей способности почв, мы ставили опыт по методу Ваксмана,[2] который заключается в следующем: к 100 г исследуемой почвы прибавляется 0.15 г сернокислого аммония и 0.21 г. углекислого кальция. Влажность доводится до 60% от полной влагоемкости и поддерживается в течение всего опыта. Прирост нитритов и нитратов в образцах крымской почвы был следующий: в гор. A_1 нитритов — 328.58 мг, нитратов 103.0 мг, в горизонте A_2 — нитритов — следы, нитратов 34.47 мг на 1 кг почвы. В образцах кавказской почвы в водной вытяжке из почвы

[1] В. Л. Омелянский. Практическое руководство по микробиологии. 1922.
[2] Waksman. Principles of Soil Microbiology. 1927.

не были обнаружены нитриты и нитраты ни при первом исследовании, ни при втором исследовании. Эти опыты дали основание предполагать, что, повидимому, в исследуемой кавказской почве нитрифицирующие бактерии отсутствуют. Можно было сделать еще второе предположение, что нитрифицирующие бактерии находятся в инактивном состоянии, благодаря неблагоприятным условиям, в которых они находятся, но это предположение отпадает, так как были созданы по методу Ваксмана благоприятные условия, для их развития и они должны были перейти в активное состояние, тем более, что вторая чашка Коха с почвой была нами оставлена на очень продолжительное время (3 мес.). Для того, чтобы окончательно убедиться в том, что нитрифицирующие бактерии отсутствуют в исследуемой почве, мы заразили ряд колбочек, содержащих исследуемую почву, обогащенной культурой *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*.

Таким образом мы имели следующий ряд колбочек с зараженной почвой: 1) почва + культура + $CaCO_3$; 2) почва + культура + $(NH_4)_2SO_4$; 3) почва + культура + $(NH_4)_2SO_4$ + $CaCO_3$, для контроля был поставлен ряд колбочек с почвой, незараженной культурой.

Через месяц опыт был снят, при этом прирост нитритов и нитратов был обнаружен во всех образцах почвы, которые были заражены культурой *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*. Этот опыт показал нам, что в исследуемой почве отсутствуют нитрифицирующие бактерии. В образце, в который были внесены сернокислый аммоний и углекислый кальций, было обнаружено наибольшее количество нитритов и нитратов. Приводим полученные данные.

	Прирост нитритов в мг	Прирост нитратов в мг
Почва + культура	13.48	42.10
почва + культура + $(NH_4)_2SO_4$	0.35	12.06
почва + культура + $CaCO_3$	36.58	94.31
почва + культура + $(NH_4)_2SO_4$ + $CaCO_3$	43.51	93.05

Как видно из таблицы, наименьший прирост N_2O_5 и N_2O_3 падает на зараженную почву + сернокислый аммоний; наилучшее развитие нитрифицирующих бактерий обнаружено в зараженной почве + $CaCO_3$, это указывает на недостаток извести в исследуемой почве, что подтверждается полученными химическими данными, — очень большой ненасыщенностью почвы основаниями (см. стр. 74). В образцах, незараженных культурой, деятельность нитрифицирующих бактерий не обнаружена, что лишний раз подтверждает отсутствие нитрифицирующих бактерий в исследованной почве. Объяснение отсутствия нитрифицирующих бактерий мы находим в тех

химических данных, которые приведены выше: а именно — очень кислая реакция почвы и большая ненасыщенность почвы основаниями, что создает неблагоприятные условия для их жизнедеятельности.

Процесс денитрификации. Для выделения денитрифицирующих бактерий, вызывающих восстановление нитратов до окислов азота и до свободного газообразного азота (истинная денитрификация), употреблялась среда Гильтая[1] без глюкозы.

На 1 литр этой среды мы прибавляли 5—6 см³ 1%-го спиртового раствора индикатора (Bromthymolblau) pH среды должно быть 7.0—7.2. Как известно, одним из признаков истинной денитрификации является резкое подщелачивание среды (до pH = 9.2 — 9.6). Прибавление индикатора Bromthymolblau в среду даст при истинной денитрификации резкое изменение зеленого цвета, в синий что указывает на сильное подщелачивание среды.

Засев производился в пробирке, налитой высоким слоем. В качестве реактивов на азотную, азотистую кислоты и аммиак утреблялись те же реактивы, что и при исследовании процессов нитрификации.

Очень бурно протекал процесс денитрификации в образцах кавказской почвы на глубинах (0—10 см) и (15—25 см), где восстановление нитратов закончилось в течение 6 дней. На третьи сутки было сильное выделение пузырьков и резкое подщелачивание среды. На глубине 65—75 см процесс денитрификации протекал крайне вяло, в течение 2-х месяцев подщелачивание среды было небольшое, пузырьков газа на поверхности среды было незначительное количество. При пересеве на плотную среду из жидкой среды Гильтая не выросло характерных колоний для денитрифицирующих бактерий. При пересеве колоний в жидкую среду восстановление нитратов шло только до нитритов. Опыт был повторен 3 раза и дал те же результаты.

Все вышеизложенное дает нам возможность предполагать, что денитрифицирующие бактерии, вызывающие процесс истинной денитрификации, в исследуемом образце не встречаются. В пробирках, засеянных щебенкой и горной породой, восстановление нитратов не началось в продолжение 4-х месяцев. В исследованных образцах крымской почвы денитрифицирующие бактерии были обнаружены во всех горизонтах. В течение 7 дней во всех пробирках с засеянными крымскими образцами восстановление нитратов было закончено.

[1] В. Л. Омелянский, loc. cit.

Фиксация свободного азота *Azotobacter*'ом. Для обнаружения *Azotobacter chroococcum* мы пользовались жидкой средой Бейеринка[1] и кремнекислыми пластинками, пропитанными этой же средой. Через 9 дней после засева наблюдалась буроватая пленочка в пробирках, засеянных образцами крымской почвы с глубины (0—15 см) и (15—30 см). Через 2 недели появились слизистые колонии на кремнекислых пластинках с засевами с тех же глубин. Кроме бурых колоний *Azotobacter* были обнаружены слизистые светложелтые большие колонии; при просматривании препаратов, приготовленных из этих колоний, была обнаружена палочка с большой слизистой капсулой.

Для выяснения вопроса, фиксирует ли данная палочка азот, была выделена чистая культура ее. Опыты, по изучению, фиксирующей способности палочки, показали что она азот не фиксирует и относится к группе aerogenes.

В образцах кавказской почвы *Azotobacter* не был обнаружен ни в жидкой среде Бейеринка,[2] ни на кремнекислых пластинках, пропитанных той же средой. Для выявления *Azotobacter*'а в образцах исследуемой почвы мы пользовались почвенными пластинками Виноградского,[3] приготовление которых состоит в следующем: к определенному количеству почвы (100 г) прибавляется 1 г маннита или 5 г растворимого крахмала. Почва делится на 4 части и помещается в чашки Петри. К почве, находящейся в первой чашке Петри, прибавляется только дестиллированная вода, ко второй $CaCO_3$ 2% + вода, к третьей смесь фосфатов (Na_2HPO_4 + NaH_2PO_4) + вода и к четвертой соли калия + вода. Воды прибавляется до кашицеобразной массы. Из всех частей почвы приготовляют пасту одинаковой влажности, гладко выравнивая поверхность почвы шпателем. Таким образом, мы имеем 4 чашки Петри с исследуемой почвой:

1) почва + маннит + дестиллированная вода,
2) почва + маннит + дестиллированная вода + $CaCO_3$,
3) почва + маннит + дестиллированная вода + смесь фосфатов,
4) почва + маннит + дестиллированная вода + KCl.

Приготовленные почвенные пластинки помещались во влажной камере в термостат при 30°. Через 48 час. производился просмотр почвенных пластинок. Колоний *Azotobacter*'а не было обнаружено ни на одной из почвен-

[1] В. Л. Омелянский, loc. cit.
[2] В. Л. Омелянский.
[3] Winogradsky et Ziemiecka. Ann. de l'Inst. Past. (1928).

ных пластинок Этот опыт доказал нам, что *Azotobacter* в исследуемой почве отсутствует, так как несмотря на благоприятные условия созданные для него он не развился. Для выяснения причин отсутствия *Azotobacter*'а были поставлены почвенные пластинки по методу С. Н. Виноградского с внесением в почву культуры *Azotobacter*'а. Через 48 час. колонии *Azotobacter*'а были обнаружены на пластинках, в которые было прибавлено смесь фосфатов и $CaCO_3$. На пластинках с почвой, зараженной культурой *Azotobacter*'а, но в которые не были прибавлены ни фосфаты, ни $CaCO_3$ — колоний *Azotobacter*'а не обнаружено. Полученные данные указывают на потребность почвы в фосфате и $CaCO_3$, что подтверждается и химическими данными, полученными при исследовании кавказской почвы (см. стр. 74). Отсутствие *Azotobacter*'а в горнолуговых почвах наблюдалось Е. А. Домрачевой и Лопатиной (см. вышеуказанные работы).

Фиксация свободного азота. *Clostridium Pasteurianum*. Для обнаружения клеток типа *Clostridium Pasteurianum* употреблялась среда Виноградского.[1]

Через 4 дня после засева было обнаружено сильное брожение в пробирках, засеянных крымской и кавказской почвой, за исключением пробирок с засевами щебенкой и горной породой. При просматривании препаратов со дна забродивших пробирок были обнаружены клетки типа *Clostridium Pasteurianum* Гранулезная реакция с иодом была положительная. Опыт велся в анаэробных условиях, в эксикаторе, с выкачанным из него воздухом и по методу Bredemann, который состоит в следующем: среда Виноградского разливается по 10—15 см в пробирки. Материал для засева пастеризуется в течение 10 мин. при температуре 75—80°, после чего производится засев в пробирки со стерильной средой. Через 3—4 дня начинается брожение. Пробирки вынимаются из термостата и держатся в наклонном положении при комнатной температуре; таким образом, создается большая поверхность для развития *Clostridium Pasteurianum*.

Разложение мочевины. Для выделения уробактерий мы пользовались методом Söhngen'а. На четвертые сутки после засева было обнаружено брожение мочевины в образцах крымской и кавказской почвы, с глубины (0—15 см) и (15—25 см). Из жидкой среды мы делали пересев на плотную среду Söhngen'а. На седьмые сутки после засева выросли катерообразные колонии. При просматривании мазков из колоний мы обнаружили уробактерии типа *Urobact. Pasteurianum*. В остальных исследуемых образцах брожение мочевины не обнаружено.

[1] В. Л. Омелянский, loc. cit.

Брожение целлюлозы. Для выделения аэробных бактерий, разлагающих клетчатку, мы пользовались 3 методами: 1) методом Бейеринка;[1] 2) методом Hutchinson'a,[2] и 3) методом Виноградского.[3] Ни в одном из исследуемых образцов не было обнаружено бактерий, разлагающих клетчатку в аэробных условиях. В исследованных Е. А. Домрачевой горнолуговых почвах Юго-Осетии также не обнаружено бактерий, разлагающих клетчатку в аэробных условиях.

Для обнаружения анаэробных бактерий, разлагающих клетчатку, употреблялась среда, предложенная В. Л. Омелянским.[1] Через 2 недели после засева в образцах крымской почвы и через 3 недели в образцах кавказской почвы было обнаружено сильное разложение клетчатки. При микроскопировании мазков разложившейся бумаги были обнаружены палочки, со спорами на концах типа *Bact. cell. hydrogenicus* и *Bact. cell. methanicus*.

В колбах с засевами щебенки и горной породы, брожение не наблюдалось до сего времени.

Маслянокислое брожение. Для выявления маслянокислых бактерий мы пользовались 2 %-м сахарным бульоном. На вторые сутки после засева было обнаружено брожение во всех пробирках с исследуемыми образцами, за исключением пробирки, засеянной образцом щебенки породы и горной породой. Очень вяло протекало брожение в гор. С (глуб. 65—75) кавказкой почвы; брожение началось через 4 дня, после засева, выделение пузырьков было очень небольшое. Для доказательства, что мы имеем маслянокислое брожение, а не спиртовое, мы подводили под бродильные пробирочки кусочек NaOH. В обоих случаях образовавшаяся угле кислота поглощается NaOH, и жидкость в пробирочке поднимается. При спиртовом брожении, пробирочка заполняется жидкостью, нацело так как при спиртовом броженнии образуется только CO_2, при маслянокислом брожении, бродильная пробирочка заполняется не нацело, так как, кроме CO_2, при маслянокислом брожении выделяется H_2.

Разложение жиров. Для обнаружения бактерий, разлагающих жиры, мы пользовались методикой Rahn'a. Через $^1/_2$ месяца после засева наблюдалось разложение жира в обеих исследуемых почвах на глубине 0—15 см и 15—30 см. В остальных образцах разложение жира не наблюдалось.

[1] В. Л. Омелянский, loc. cit.
[2] Hutchinson and Clayton, Journ. Agric. Science, 9 (1918).
[3] Winogradsky, Ann. de l'Inst. Pasteur, 1929.

Процесс десульфуризации. Для обнаружения десульфурирующих бактерий, вызывающих восстановление сернокислых солей до сероводорода, употреблялась среда Ван-Дельдона и Бейеринка.[1] Среда разливалась в баночки с притертыми пробками, в которые производился засев. Баночки закрывались притертыми пробками так, чтобы в них не было ни одного пузырька воздуха. Через месяц после засева процесс десульфуризации был обнаружен во всех исследованных образцах крымской почвы. Из жидкой среды был сделан посев на плотную среду (среда Ван-Дельдона + агар) в стеклянные трубочки. Через 2 недели после засева выросли отдельные колонии. При микроскопировании колоний были обнаружены палочки типа *Microspora desulfuricans*. Михайловская[2] при исследовании почв югозападной части, Бабуган-Яйлы не обнаружила солей серной кислоты. Аналогичные результаты были получены И. Н. Антиповым-Каратаевым при исследовании водной вытяжки из данной почвы. При изучении группы бактерий, восстанавливающих соли серной кислоты до сероводорода, мы обнаружили очень бурную реакцию. Можно сделать предположение, что образующаяся серная кислота очень быстро восстанавливается десульфурирующими бактериями до сероводорода и поэтому не может быть обнаружена в водной вытяжке почв. В остальных образцах процесса десульфуризации не наблюдалось.

Гнилостные бактерии, образующие меркаптан, аммиак и сероводород, были обнаружены во всех образцах, за исключением щебенки породы и горной породы.

Гнилостные бактерии, образующие индол, не были обнаружены ни в одном из исследованных образцов.

ВЫВОДЫ

Подводя итоги всему вышеизложенному, мы можем отметить следующее:

1. Отсутствие нитрифицирующих бактерий в кавказской горнолуговой почве и нахождение их в верхних горизонтах крымской почвы.

2. Очень бурный процесс денитрификации, вызываемый денитрифицирующими бактериями во всех горизонтах крымской почвы и в первых двух горизонтах кавказской почвы, отсутствие денитрифицирующих бактерий, вызывающих истинную денитрификацию в гор. С кавказской почвы.

3. Очень слабое развитие *Azotobacter*'а в крымской почве и отсутствие *Azotobacter*'а в кавказской почве.

[1] В. Л. Омелянский, loc. cit.

[2] Михайловская, Тр. Почвенного инст. АН, вып. 3—4 (1930).

4. Бурное брожение, вызываемое *Clostridium Pasteurianum* как в крымской, так и в кавказской почве, за счет которого, по всей вероятности, и идет фиксация азота.

5. Уробактерии были найдены в верхних горизонтах обеих исследованных почв.

6. Отсутствие бактерий, разлагающих клетчатку в аэробных условиях.

7. Бурное брожение клетчатки, вызываемое анаэробными бактериями.

8. Маслянокислые бактерии были обнаружены во всех исследованных образцах.

9. Бактерии, разлагающие жиры, были обнаружены во всех горизонтах крымской почвы и не были обнаружены в образцах кавказской почвы.

10. Десульфурирующие бактерии были обнаружены во всех горизонтах крымской почвы и не были обнаружены в образцах кавказской почвы.

11. Гнилостные бактерии, образующие меркаптан, сероводород, аммиак, были обнаружены во всех исследованных образцах.

12. Гнилостные бактерии, образующие индол, не были обнаружены ни в одном из исследованных образцов.

Таким образом, две исследованные горнолуговые почвы сильно отличаются по групповому составу бактерий, обнаруженных в них, друг от друга.

В крымской почве обнаружены аэробы: нитрифицирующие бактерии и *Azotobacter*. Их развитие связано с благоприятными химическими свойствами этой почвы: небольшая кислотность почвы, лежащая в пределах развития вышеуказанных групп бактерий, и богатство почвы кальцием.

В кавказской почве эти две группы бактерий не обнаружены, отсутствие их объясняется неблагоприятными химическими свойствами данной почвы: кислая среда и большая ненасыщенность почвы основаниями, в частности кальцием.

Из всего вышесказанного видно, насколько различны исследованные почвы по своему микробиологическому профилю, который в свою очередь тесно связан с физико-химическими и механическими свойствами почвы.

Отсутствие в кавказской почве *Azotobacter*'а, который является биологическим индикатором на $CaCO_3$ и фосфор дает возможность судить о недостаточном количестве в данной почве фосфора и $CaCO_3$. Как известно, большое внимание на развитие нитрифицирующих бактерий оказывает кислотность среды, ниже определенной величины которой деятельность этой группы бактерий сильно задерживается.

Бактерии, разлагающие клетчатку в аэробных условиях, отсутствуют и, видимо, разложение клетчатки идет под влиянием анаэробных форм.

Отсутствие этой группы бактерий способствует большому накоплению в исследованных почвах органического вещества, что подтверждается химическими данными.

В заключение хочется еще раз подчеркнуть, какое большое влияние оказывают на развитие тех или иных микробиологических процессов различные физико-химические свойства почвы. В данном случае почва, лежащая на известняках, имеет более благоприятные условия для развития нитрифицирующих бактерий и *Azotobacter'a*, что указывает на большое количество кальция и благоприятную реакцию среды. В кавказской почве, лежащей на аспидных сланцах, эти группы бактерий не могли развиваться как из-за отсутствия подходящей реакции почвы так и отсутствия кальция. По микробиологическому профилю исследуемых почв мы можем иметь представление о химических свойствах данной почвы, об ее потребности в тех или иных веществах, необходимых для развития культурных растений. Кроме того, нахождение тех или иных групп бактерий дает возможность судить о превращении органического вещества в почве и вообще о динамике процессов, происходящих в ней.

В заключение считаю своим долгом выразить благодарность заведывающему Отделом общей микробиологии Г.И.Э.М. проф. Б. Л. Исаченко за предоставленную возможность провести эту работу в данном отделе.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1932.
BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS

Classe des sciences mathématiques et naturelles

Отделение математических и естественных наук

ЗАМЕТКА О ТРИГОНИЯХ НИЖНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАВКАЗА И МАНГЫШЛАКА

Б. Л. ЛИЧКОВА

(*Представлено академиком* А. А. Борисяком)

В 1912 г., занимаясь изучением тригоний Мангышлака,[1] я констатировал, что в нижнемеловых отложениях этого района большое развитие имеют представители группы *Quadratae* и *Clavellatae* причем последняя группа представлена несколькими характерными видами[2] в то время, как в западноевропейских отложениях аналогичного возраста известен лишь один вид из этой последней группы тригоний.[3] Появившаяся не особенно давно работа В. П. Ренгартена о меловой фауне Ассинско-Камбилевского района[4] дала косвенное подтверждение констатированного мною факта и вместе с тем самый факт расширила. В. П. Ренгартен описал из нижнемеловых отложений Кавказа три вида тригоний из группы *Clavellatae* и два вида из группы *Quadratae*. При этом общий habitus всех этих форм оказался совершенно сходным с habitus'ом форм Мангышлака.

Значение этих находок В. П. Ренгартена освещается следующим обстоятельством. Надо сказать, что в нижнемеловое время обращает на себя внимание факт одновременного существования трех близких между собою групп тригоний: *Clavellatae*, *Quadratae* и *Pseudoquadratae*.

[1] Б. Л. Личков. Мезозойские тригонии Мангышлака. Зап. Киевск. общ. ест., т. XXII, 1912.

[2] Idem. О тригониях. Отт. из Киевск. унив. изв., 1913 г. Киев, 1912—1913 (164 стр.).

[3] Lycett. British fossil Trigoniae. Paleontogr. Society, vol. XXVI, p. 24; vol. XXXIII, p. 207.

[4] В. П. Ренгартен. Фауна Ассинско-Камбилеевского района на Кавказе. Тр. Геол. ком., нов. сер., вып. 147. Л. 1926.

Интересно географическое распространение этих групп. Как я указывал в моей большой работе о тригониях, представители группы *Quadratae* распространены были повидимому повсеместно в средней Европе, наоборот, представители так называемых *Pseudoquadratae* и гр. *Clavellatae* в Западной Европе почти не встречались вовсе, а встречались: первые в области Индийско-Тихоокеанской, а вторые — в Закаспийской.[1]

Важно здесь еще морфологическое сопоставление этих трех групп между собой. Из тех восьми групп, на которые разделяют юрских и меловых тригоний, эти три группы обнаруживают между собой наибольшее морфологическое сходство. Чтобы оттенить их взаимные отличия, я сопоставлю их основные признаки в таблице:

Clavellatae	*Quadratae*	*Pseudoquadratae*
1. Форма раковины плоская и удлиненная.	1. Форма раковины выпуклая и сильно укороченная (близкая в квадратной).	1. Форма раковины плоская и удлиненная.
2. Характерная черта — поперечные ряды бугорков (бугристые ребра) на боках раковины. Иногда вместо рядов бывает запутанное расположение бугорков.	2. То же. Бугристые ребра неправильные.	2. То же. Ребра правильны и концентричны. На расстоянии от грани ребра теряются остаются отдельные бугорки.
3. Арея всегда разделена на двое и ограничена двумя бугристыми килями, а кроме того имеет косой средний киль, замененный иногда бороздой.	3. Арея широкая расплющенная и лишь слегка разделенная продольно.	3. Арея покрыта бугорками особенно в нижней части, разделенная на две.
4. Щиток гладкий, ясно обрисованный и вдавленный.	4. Щиток украшенный скульптурой.	4. Щиток украшенный скульптурой.
5. Распространена почти исключительно в юре, частично нижнемеловых отложений.	5. Меловые отложения.	5. Меловые отложения.

Из приведенной таблицы можно видеть, что морфологические отличия этих трех групп между собой очень незначительны. По поводу *Pseudoquadratae* Штейнманн говорил, что «в чисто морфологическом смысле это была бы промежуточная группа между двумя названными (т. е. *Clavellatae* и *Quadratae*), распространение которой в раннемеловых отложениях притом

[1] О тригониях, стр. 118.

приблизительно совпадает с *Quadratae*».[1] Штейнманн полагал, что *Pseudoquadratae* это самостоятельный и равноценный с *Quadratae* отдел, происходящий от *Clavellatae*.[2]

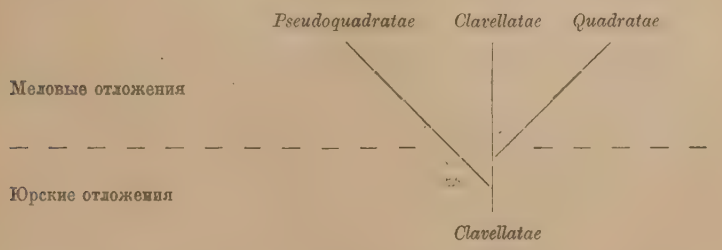
Географическое распространение этих семейств тригоний такое.

Clavellatae существуют еще в юре и оттуда продолжаются в неоком.

Здесь они встречаются в неокоме Англии и Нормандии, а на востоке на Кавказе и Мангышлаке.[3] В Индии их нет.[4]

Pseudoquadratae встречаются начиная с портланда и имеются сначала в Америке, где находится повидимому их родина. Отсюда они переходят в «Uiteenhage Formation» Наталя и в апт восточной Африки. Область их распространения доходила до Индии, где они имеются в отложениях Куча.[5] Третья из этих групп — *Quadratae*, повидимому, имеет своих представителей в отложениях не моложе неокома как в Западной Европе, так и в интересующих нас районах за Каспием.[6]

На основании этих данных можно предполагать, что генетическое соотношение этих трех групп таково:[7]



Иначе говоря это значит, что где-то на рубеже юры и мелового периода от единого ствола *Clavellatae* отделились родственные им группы: *Pseudoquadratae* и *Quadratae* первые немного раньше, вторые позже. Эту

[1] G. Steinmann. Die Gruppe der *Trigoniae pseudoquadratae*. Neues Jahrb. 1882, I. Bd S. 223.

[2] Ibid., S. 226.

[3] Б. Л. Личков. О тригониях, стр. 117 и сл.

[4] F. L. Kitchin. The Jurassic fauna of Cutch. № 1 Genus *Trigonia*. Paleontologia Indica, 1903. Calcutta, 1903.

[5] Б. Л. Личков. О тригониях, стр. 83, 118—119 и др.

[6] Ibid., стр. 118.

[7] Как раз такое соотношение генетических групп я предполагал в моей работе «О тригониях», стр. 116.

генетическую схему можно осветить таким фактическим материалом, который мне представляется довольно поучительным:

	Clavellatae		*Pseudo-quadratae*	*Quadratae*	
	Зап. Европа	Закасп. обл. и Кавказ	Главным образом Южное полушарие	Зап. Европа	Закасп. обл. и Кавказ
Барремский ярус . . .	Повидимому нет		Неизвестны	*T. nodosa* Sow. *T. daedalea* Parn.	*T. inguschensis* Rang. *T. subdaedalea* Renng. *T. nodosa* Sow.
Неокомский ярус . . .	*T. ingens* Lyc. *T. Keepingi* Lyc.	*Tr. minor* Litschk. *T. multituberculata* Litchk. *T. oblongotuberculata* Litchk. *T. ovata* Litchk. *T. ingens* Lyc. *T. Loewinson-Lessingi* Renng. *T. minor*. Litschk.	*T. Kraussi* Kitch. *T. transitoria* Hans. *T. Neuquensis* Burbk. *T. Holubi* Kitch.	*T. cincta* Ag. *T. Tealbyensis* Lyc. *T. rotundata* de Lor.	*T. nodosa* Sow.
Портланд. .	*T. Alina* Cont. *T. Cymba* Cont. *T. incurva* Benett *T. intermedia* Farr. *T. Parkinsoni* Ag.	—	*T. mamillata* Kitch.	—	Повидимому нет (*T. Parkinsoni* Ag.?)

В этой таблице бросается в глаза обилие представителей сем. *Clavellatae* в неокоме Закаспия и Кавказа в то время, как в Западной Европе их почти нет. На это обстоятельство я указывал еще в своих первых двух работах о тригониях по отношению к Мангышлаку. Теперь этому факту можно дать расширительное толкование, считаясь с большой близостью фауны тригоний Мангышлака и Кавказа, которая становится, как я уже указывал, очевидной после упомянутой работы В. П. Ренгартена.

Помимо этого достойно внимания еще одно обстоятельство, которого не видно из таблицы, но которое имеет первостепенное значение: это — морфологические признаки *Clavellatae* Мангышлака и Кавказа, определенно отграничивающие их от европейских типов. Интересно, что это уклонение признаков идет здесь в сторону развития черт, сближающих всю группу

нижнемеловых отложений Мангышлака, с группой *Pseudoquadratae* и *Quadratae* как это я подробно указывал в моей книге о тригониях.[1]

Характерно отсутствие правильности и рядового расположения в размещении бугорков на боках раковины на некотором отдалении от макушки. Это, следует отметить, представляет черту, которая характерна для ряда представителей *Quadratae* и для *T. Hertzogi* из *Pseudoquadratae*. Особенно интересны черты сходства *Clavellatae* Мангышлака и Кавказа с представителями Индо-Тихоокеанской группы *Pseudoquadratae*. В Индии нет *Clavellatae*, но за то есть *Pseudoquadratae*, являющиеся измененными *Clavellatae;* в то же время в Кавказско-Закаспийской области нет *Pseudoquadratae*, но есть близкие к ним морфологически мангышлакского типа *Clavellatae*. Обособленность кавказско-закаспийского типа тригоний от европейского, с одной стороны, и близость их к типам индийско-тихоокеанским, с другой, указывает, что именно в таком направлении шли географические морские связи, как это давно уже указывал С. Н. Никитин.[2]

В подтверждение близости нижнемеловых *Clavellatae* Мангышлака и *Pseudoquadratae* я могу привести сейчас еще следующий факт. Недавно разбирая старые коллекции тригоний Мангышлака, я обнаружил среди них экземпляр к сожалению не совсем полной сохранности, представляющий несомненно новый вид, очень напоминающий некоторыми чертами *Tr. transitoria* Steinm. Я даю этому виду название *Tr. pseudotransitoria*. Даю диагноз этой формы:

Trigonia pseudotransitoria n. sp.

Скульптура раковины состоит из бугорков, которые образуют довольно неправильные ребра, напоминающие своим расположением расположение ребер у *Tr. transitoria* с отличием в сторону меньшей правильности расположения.

Щиток покрыт довольно неясными бугорками. Арея узкая, разделенная продольно на две части, гладкая.

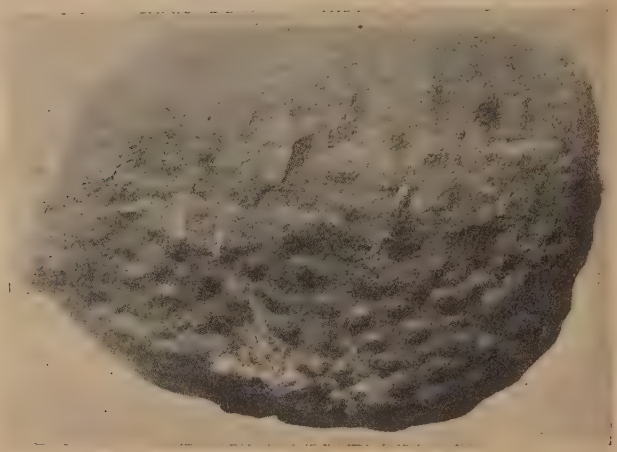
Форма эта имеет большое сходство с *Tr. mulituberculata* Litschk., *T. ovata* Litschk. и др. родственным им формами; с другой стороны, ряд черт сходства она имеет с *Tr. transitoria* Steinm.

Какова палеогеографическая и стратиграфическая подкладка выдвигаемых мною фактов о сходстве между прикаспийскими и индо-тихоокеанскими формами.

[1] Op. cit., стр. 114—116.

[2] С. Никитин. Заметки о юре Гималаев и Средней Азии. СПб. 1889, стр. 24, 15 и др.

Прежде всего скажем несколько слов о тех морских отложениях, в которых находят тригоний. Тригонии являются живыми существами которые встречаются большими массами и образуют исполинские скопления раковин, носящие название банок.[1] Эти скопления приурочены к отложениям, представленным песчаником («*Trigonia* grit.», «*Trigonia* Sandstein»). Иначе говоря это значит, что те осадки, среди которых находят тригоний, во время своего отложения представляли собой пески. Из этого ясно, что отложения с тригониями представляют собой отложения мелководные, создавшиеся в районах так называемых шельфов.[2] В 1913 г. суммируя в виде



Фиг. 1.

кривой линии историю рода тригоний, я пришел к заключению, что подъем как в числе видов тригоний, так и в числе групп этих животных, приходится на лейяс, портланд-неоком, сеноман и пр.[3] Все эти фазы геологической истории являются фазами больших морских трансгрессий. Очевидно дело здесь в том, что в эпоху трансгрессии море заливало большие территории и здесь то получали большое распространение тригонии.[4]

Раньше всего они появились, повидимому, в Южной Америке, где по указаниям Яворского имелись уже три группы этих животных — *Costa-*

1 W. Deecke. Über die Trigonien. Paleontol. Ztschr. Bd. VII, H. 2, 1925, S. 79.
2 См. об этом у Дееке, op. cit., стр. 79—83.
3 Ibid.
4 Б. Л. Личков. О тригониях, стр. 96—97.

tae, Clavellatae и *Schapoidcae*. По мнению Яворского, к которому присоединился в данном вопросе Дееке[1] именно здесь в Южной Америке надо искать родину тригоний. В Европу они проникли по Дееке, через море Тетис именно европейско-азиатскую часть его; здесь появление тригоний *Costatae* относится к концу лейяса, а полного развития они достигают в доггере. «Я держусь того мнения, говорит Дееке, что тригонии из южной части Тихого океана через Северную Америку и вдоль североатлантического побережья пришли к нам».[2] Он допускает существование гольфстремоподобного течения, которое идя от экватора направлялось к европейскому берегу, шло вдоль него и в европейском архипелаге соединялось с течением моря Тетис.

Можно проследить появление ряда тригоний американского типа в Португалии, Англии на Роне и пр. Распространяясь дальше по Европе, в эпоху макроцефаловой трансгрессии они по балтийской дороге проникли из западного моря в русское и дошли до Москвы и Урала. При этом Дееке справедливо подчеркнул, что «с богатой видами индийской фауной русская имеет мало общего».[3] Это очень важное обстоятельство, показывающее, что сюда тригонии проникли не из американского моря, а каким-то самостоятельным путем через азиатский шельф. Дееке считает, что этим путем шло переселение группы *Pseudoquadratae*, которую надо рассматривать как ответственную *Clavellatae*. Из нижнего мела Южной Америки они переходят в «Uiteenhage Formation» Наталя и апт немецкой Восточной Африки, а затем приходят в Индию. Подчеркивая, что *Clavellatae* нет в Индии и рисуя этот путь распространения *Pseudoquadratae,* Дееке этим самым как бы исключает возможность встретить в этом азиатском районе настоящих *Clavellatae*. С этой точки зрения и на фоне всех только что изложенных фактов большое значение приобретает обильная фауна *Clavellatae* на Кавказе и за Каспием. Как она здесь возникла? Из Европы она не могла попасть чисто географически, а кроме того в самой Европе в то время существовала только *T. ingens*,[4] узко ограниченная в своем распространении южной Англией и Нормандией. Между тем за Каспием и на Кавказе кроме *T. ingens* встречен еще целый ряд других своеобразных видов. Как они могли сюда попасть при условии, что их нет в Италии, Южной

[1] W. Deecke, op. cit., стр. 94; к тому же выводу приводит и рассмотрение списков тригоний в моей книге.

[2] Op. cit., 94.

[3] Ibid., 94.

[4] Ibid., 96.

Испании, Балканах и Малой Азии.[1] Это ставит вопрос о том, что очевидно дорога вдоль Африканского континента не была дорогой, по которой перемещались только *Pseudoquadratae* но была вместе с тем путем перемещения настоящих *Clavellatae*.

В параллель с этим можно поставить, что тригонии *Quadratae* по мнению Деeке, также производят впечатление американских форм, которые, с одной стороны, направлялись в Северную Америку и Европу, а с другой, через Южную Америку в Индию. Иначе говоря, здесь видны те же два пути, которые мы указали для *Clavellatae-Pseudoquadratae*.[2]

Вероятно, на этом пути или в той или иной другой части его происходил, вернее всего, может быть даже неоднократно (полифилетично) процесс превращения настоящих *Clavellatae* в *Pseudoquadratae*. Присутствие обильной фауны *Clavellatae* за Каспием и на Кавказе интересно тем, что заставляет надеяться найти их в Африке и ставит на очередь поиски в этом направлении. Вместе с тем черты сходства каспийских и кавказских *Clavellatae* с *Pseudoquadratae* определенно отличают их от европейских типов этой группы и заставляют с полным основанием говорить о взаимном родстве представителей обеих этих групп тригоний.

Геологический Музей Академии Наук.

1 Ibid.
2 W. Deecke, op. cit., 79.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1932

BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS

Classe des sciences mathématiques et naturelles

Отделение математических и естественных наук

NOTIZ ÜBER PERMISCHE ABLAGERUNGEN DES KOLYMA-LANDES (OST-SIBIRIEN)

Von B. LICHAREV

(Présenté par V. Obručev, *membre de l'Academie des Sciences)*

Die letzte Expedition unter der Leitung von S. Obrutschew in das Kolyma-Land hat einige ziemlich reiche Fossiliensammlungen aus den oberpaläozoischen Ablagerungen mitgebracht, von denen ein bedeutender Teil mir von S. Obrutschew zur Bearbeitung übergeben wurde (die Bryozoen ausgeschlossen). Zur Zeit habe ich die vorläufige Feststellung dieses Materials beendigt und will hiermit einige Hauptresultate dieser Studiums darlegen.

Die obengenannte Fauna stammt aus einigen Orten, welche sich am Flusse Kolyma in der Umgebung der Stadt Srednij Kolymsk und im oberen Laufe der Flüsse Omolon und Korkodon (die rechten Nebenflüsse des Fl. Kolyma) befinden. I. Tolmatschew hat schon lange vorher eine kleine sich schlecht erhaltene Fauna aus dieser Gegend beschrieben,[1] aber irriger Weise, wie es S. Obrutschew bemerkt,[2] ihr ein devonisches Alter zugeschrieben.

Das Material, welches mir zu Verfügung gestellt wurde, ist ziemlich zahlreich, doch einförmig; leider haben sich die Fossilien schlecht erhalten und sind durch den Bergdruck stark deformiert. Die Mehrzahl der Brachiopoden ist nur als Steinkerne in Stinkkalken eingeschlossen, welche den inneren Bau der Schalen gut abprägen, aber die Aussenskulptur nicht erkennen lassen; nur bei den Spiriferen hat sich die Schale selbst erhalten. Die

[1] I. Tolmatschew. Materialen zur Kenntnis der palaeozoischen Ablagerungen von Nord-Ost Sibirien. Mém. Soc. Imp. Russe Miner. Ser. 2, v. L, 1915.

[2] С. Обручев. Колымско-Индигирский край. Географический и геологический очерк. Тр. Сов. изуч. произв. сил. Сер. якутская, вып. 1, 1931, стр. 41.

Gastropoden und Pelecypoden befinden sich meist in einem Sandsteine und stellen fast ausnahmslos sehr grobe Steinkerne dar. Hinsichtlich der Arten und Individuenzahl sind die Brachiopoden am reichsten. Unter ihnen habe ich folgende Formen bestimmt:

Dielasma cf. *curvata* Tschern.
Dielasma sp. nov.
Athyris expansa Phill.
Athyris planosulcata Phill.
Athyris cf. *macleyana* Ether.
Spirifer nitiensis Diener
Spirifer kimsari Bion
Spirifer sp. nov. aff. *cameraius* Tschern. (non Mort.)
Spirifer ? *kolymaensis* Tolm.
Pseudosyrinx papillatus Tolm.
Spiriferella ? cf. *tasmanensis* Morr.
Camerotoechia sp. nov.
Camerotoechia cf. *sjedowi* Tolm.
Camerotoechia cf. *kojewnikowi* Tolm.
Camerotoechia cf. *weberi* Tolm.
Pugnax aff. *bisulcatus* Schum. var. *seminoloides* Girty.
Leiorhynchus ? *pauciplicatus* Tolm.
Rhynchopora cf. *geinitziana* Vern.
Rhynchopora ? *lobiensis* Tolm.
Camerophoria sp. ind.
Productus curvatus Tolm.
Productus cf. *pertenuis* Meek.
Productus obrutschewi sp. nov.
Productus (*Linoproductus*) sp. nov. aff. *aagardi* Toula.
Productus (*Linoproductus*) sp. nov. (2 Arten).
Productus cf. *kharaulachensis* Fred.
Productus (*Marginifera*) cf. *involutus* Tschern.
Strophalosia grandis Tolm.
Strophalosia aff. *clarcei* Ether.
Chonetes cf. *vishnu* Salt.
Chonetes sp. nov. aff. *capitolinus* Toula
Lingulidiscina grandis sp. nov.
Lingulidiscina sp. ind. (cf. *newberryi* Hall).

Wenn wir zur Analyse dieser Liste übergehen, werden wir sogleich bemerken, dass die Zahl der Arten, welche mit dem uralischen Oberkarbon (und Unterperm) gemein sind, ganz unbedeutend ist (nämlich zwei Arten); auch die Zechsteinformen sind hier nur mit *Rhynchopora geinitziana* Vern. vertreten, obgleich die obengenannte Art für unsere oberpermischen Ablagerungen sehr bezeichnend ist.

Viel enger sind die Beziehungen zwischen der Kolyma-Fauna und den anthracolitihschen Faunen des Himalaja und ganz besonder zwischen der der Nagmara-Schichten aus der agglomeratisch-schieferigen Serie in Kaschmir, welche vor einigen Jahren von Bion beschrieben wurde.[1] Diese Schichten stellen den obersten Teil der genannten Serie dar, welche direkt von den schwarzen Schiefern mit *Gangamopteris* und *Glossopteris* überlagert ist. Bion selbst bringt die Nagmara-Schichten in den oberen Teil des Oberkarbons hin, was mir doch nicht ganz treffend scheint. Als ein eigentümliches Glied dieser Fauna muss man eine Menge der Spiriferen nennen, unter denen die zu Bündel gerippten Spiriferen, dann die Pseudosyrinx und die Spiriferella vertreten sind, welche Bion trotz ihrer Ungleich-

[1] H. Bion and C. Middlemiss. The Fauna of the Agglomeratic Slate series of Kashmir. Palaeontologia Indica. New. Ser. Vol. XII, 1928.

artigkeit unter dem Namen «die Gruppe der *Spirifer kimsari*» vereinigt. Dieser Verfasser weist auf eine grosse stratigraphische Bedeutung hin, welche die genannte Assoziation auch an anderen Orten der Erde vertritt.

Aus der Zahl der von Bion beschriebenen Arten konnte ich in der Kolyma-Fauna die Anwesenheit des *Spirifer nitiensis* Dien. und *Sp. kimsari* Bion nachweisen (die erste Art ist hier sehr zahlreich dargestellt); was aber *Spirifer nagmaraensis* Bion betrifft, so ist diese Form vielleicht mit *Pseudosyrinx papillatus* Tolm. zu identifizieren oder als eine Varietät der letzteren zu betrachten. Eine andere Form, welche ich in der Liste, als *Spirifer* sp. nov. aff. *comeratus* Tschern. bezeichnet habe, steht der himalayischen *Sp. musakheylensis* David. und *Sp. fasciger* Keys. sehr nah, obgleich die Zahl der Rippen in jedem Bündelchen nicht so gross ist. Endlich, was ich vorläufig als *Spiriferella ?* cf. *tasmanensis* bezeichne, gehört auch zur Reihe jener Formen, welche Bion als *Spirifer stokesii* Koen. bestimmt; es ist nicht ausgeschlossen, dass wir hier sogar mit identen Formen zu tun haben.

Eine andere Gegend von wo eine ähnliche permische Fauna mitgebracht wurde, liegt in den Charaulach-Bergen (östlich vom unteren Laufe des Fl. Lena); sie wurde ganz unlängst von Frederiks untersucht.[1] Dieser Verfasser hat aus dieser Fauna ungefähr zwanzig Brachiopoden-Arten und Variatäten beschrieben, unter welchen die rhynchonellaartigen Formen eine grosse Rolle spielen. Wahrscheinlich sind sie mit den verschiedenen kolymischen Camerotoechien ident. Leider hat sich diese ganze Fauna auch sehr mangelhaft erhalten. Unter den Productiden finden wir in beiden Faunen einige gemeine Arten; so ist «*Cora* sp. nov.», welche Frederiks mit *Productus pileiformis* Mc. Chesn. zu vergleichen versucht, in der Kolyma-Fauna in einer grossen Menge von Exemplaren dargestellt; auch *Productus kharaulachensis* Fred. glaube ich hier finden zu können. Zwei von Frederiks als neue Arten der Gattung *Krotovia* beschriebene Formen sind in der Tat zu der *Strophalosia* sensu lato hinzurechnen;[2] von ihnen ist die *Str. vollóssovitschi* Fred. mit der *Rhipidomella grandis* Tolm. aus der Umgebung der Stadt Srednij Kolymsk ident. Es ist auch möglich, dass *Spirifer kolymaensis* Tolm. und *Lytha tolmatschowi* Fred. auch zu ein und derselben

[1] Г. Фредерикс. Верхнепалеозойская фауна Хараулакских гор. ИМЕН, 1931, № 2.

[2] Frederiks weist darauf hin, dass die Brachialleisten bei *Krotovia vollossovitschi* Fred. nach einem dem *Productus* gewöhnlichen Typus gebaut sind. Es ist aber genügend die Fg. 5 und 8 seiner Arbeitanzusehen um sich von der Irrigkeit diesser Bestätigung zu überzeugen.

Art gehören; leider konnte ich den inneren Bau des einzigen Originals der Tolmatschew Art nicht untersuchen.

Die Fauna der Charaulach-Bergen beschreibend hat Frederiks auf ihre Ähnlichkeit mit derselben der permischen Ablagerungen Australiens hingewiesen. In unserem Falle ist diese Verwandschaft in etwas grösserem Grade ausgeprägt. So ist in der Kolyma-Fauna eine *Strophalosia*, welche der *Str. clarcei* Ether. sehr nahe, wenn auch nicht ident ist, sehr zahlreich vertreten.[1] *Spirifer nitiensis* Dien. wird in der australischen Perm durch eine sehr nahe vikarierende Art — *Sp. byroensis* Glauert ersetzt. Endlich sehen wir in der obenangeführten Liste zwei australische Arten — *Spirifer-rella* ? *tasmanensis* Morr., und *Athyris macleyana* Ether., obgleich auch hier keine genaue Definition gemacht werden konnte.

Diese Verwandtschaft der beiden Faunen wird noch erweitert, wenn wir jetzt von den Brachiopoden zur Betrachtung anderer Klassen der Fossilien übergehen werden. Schon lange ist in der sogenannten Maitai-Serie in Neuseeland eine Pelecypode bekannt, welche fast immer nur in Bruchstücken vorhanden ist (vollständig erhaltene Exemplare sind niemals gefunden worden) und durch die grosse Entwicklung der prismatischen Schalenschicht sehr ausgezeichnet ist. Man hat diese Form zuerst als einen *Inoceramus* erkannt («Dun Mountain Inoceramus»); später gelang es Trechmann[2] einige viel bessere Stücke dieser Pelecypode zu finden; er bestimmte sie als «*Aphanaia* cf. *mitchelli* (McCoy)»; der bekannte australische Paläontologe Dün hält sie aber nicht mit *Aphanaia* ident.[3]

In denselben Schichten wurden mit ihr zusammen auch *Strophalosia clarcei* Ether., *Chonetes* cf. *vishnu* Salt. und einige andere Formen gefunden, welche das unterpermische Alter der Maitai-Serie festzustellen erlauben. Bis jetzt war die «Dun Mountain Inoceramus» nur von der obengenannten Insel bekannt; ich kann zurzeit die Anwesenheit wahrscheinlich derselben Form nicht nur in der Kolyma Gegend, wo deren Bruchstücke viele von S. Obrutschew mitgebrachte Kalksteinstufen ausfüllen, sondern auch im Materiale von der Charaulach-Bergen, welches von Frederiks durchforscht worden ist, nachweisen.

[1] Keine Ventralklappen mit erhaltener Aussenfläche sind zu meiner Verfügung gestellt die Dorsalklappe hat eine flache oder schwach concave Scheibe, welche mit feinen Anwachsstreifen und manchmals mit Grübchen bedeckt ist.

[2] C. Trechmann. The Age of Maitai-Series of New-Zealand. Geolog. Magaz. Dec. VI, vol. IV, 1917.

[3] C. Sussmilch. Carboniferous and Permian rocks of Australia and New-Zealand-Committee. Rep. of 18 Meet. of Austr. Ass. for Adv. Scit., vol. XVIII, 1928, p. 56.

Andere Pelecypoden der Kolyma-Fauna sind bis jetzt ohne genaue Definition geblieben; wahrscheinlich haben wir hier meistens mit neuen Arten zu tun. Unter ihnen haben sich nur die *Aviculopecten*-Arten besser erhalten, von denen ich hier *Aviculopecten netschajewi* mihi (eine Form des uralischen Oberkarbons) und eine neue Art von *Deltopecten* mit einem ziemlich scharfen Wirbelwinkel nennen könnte. Von grossem Interesse ist endlich der einzelne Fund von einem Bruchstück der *Conularia laevigata* Morr., welches in einem grünen Sandsteine mit zahlreichen kleinen Geröllen enthalten ist. Diese Form ist, wie man weiss, aus dem Speckled-Sandstein des Salt-Ranges und aus der Unteren Marinen Serie Australiens bekannt. Gleichzeitig ist es als merkwürdig zu notieren, dass, wenn die Kolymische Perm mit den obengenannten Ablagerungen des Himalaya und Australiens eine bedeutende ähnlichkeit zeigt, sie mit den permischen Ablagerungen der südöstlichen Alaska keine nahe Verwandtschaft bietet. Im Formenverzeichnisse, welches uns Girty gegeben hat,[1] finden wir fast nur unsere uralischen Arten, wie es dieser Gelehrter selbst bemerkt. Auch sind mit der ussurischen Perm keine nahen Züge vorhanden. Es scheint mir, das diese Besonderheit der Kolyma-Perm mit den Bedingungen der Ablagerung dieser Gesteine zusammenhängt. Fast vollständiges Fehlen der Korallen, Lyttonien, Rhichthofenien, welche für die pacifische Provinz so eigentümlich sind, die Eintönigkeit der ganzen Fauna, endlich die Anwesencheit der *Conularia laevigata* können auf eine niedrige Wassertemperatur im kolymischen Permmeere hinweisen. Übrigens werde ich nicht überrascht sein, wenn es gelingen sollte hier echte Glazialablagerungen zu entdecken.

---

[1] A. Buddington and Th. Chapin. Geology and Mineral Deposits of southeastern Alaska. Bull. of U. S. Geol. Surv. № 800, 1929, p. 122.

Б. К. ЛИХАРЕВ. ЗАМЕТКА О ПЕРМСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ КОЛЫМСКОГО КРАЯ

РЕЗЮМЕ

Автор произвел предварительное определение палеонтологического материяла, доставленного С. Обручевым из Колымского края, именно окрестностей г. Ср.-Колымска (откуда в свое время небольшая фауна из того же местонахождения была описана И. Толмачевым, как девонская), с рр. Омалона и Коркадона. Список форм (брахиопод) приведен на стр. 94 немецкого текста. Анализируя этот список, автор приходит к заключению о близком сходстве данной фауны с таковой аггломератовой толщи верхнего палеозоя Кашмира, с одной стороны, и пермских отложений Харалуахских гор в низовьях р. Лены, с другой. Интересно отметить некоторые родственные черты с нижне-пермскими фаунами Австралии; это сходство усуглубляется присутствием в большом количестве в матерьяле С. Обручева остатков оригинальной пелециподы с сильно развитым призматическим слоем раковины, едва ли не тождественной с так называемым «Dun Mountain Inoceramus» описанным из нижне-пермской «Maitai-serie» Новой Зеландии. Обращает на себя внимание также присутствие *Conularia laevigata.* Все эти данные позволяют говорить о вероятном нижне-пермском возрасте определенной фауны.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1932

BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS

Classe des sciences mathématiques et naturelles

Отделение математических и естественных наук

ГИСТОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ СЕМЯННИКОВ ЗУБРОВ

Н. М. КУЛАГИНА

(Представлено академиком Н. В. Насоновым*)*

Работа по изучению семянников зубра из Беловежской пущи была начата мною. Для детального изучения некоторых гистологических вопросов материал был передан проф. И. Ф. Огневу. Последний поручил эту работу врачу Аладьиной. Аладьина умерла раньше, чем работа была окончена. Умер и проф. Огнев. Оставшиеся после их смерти наброски работы и мои собственные исследования по данному вопросу являются тем материалом, который здесь излагается.

Семянники млекопитающих представляют собой сложно-трубчатую железу. Снаружи каждый семянник одет оболочками. Эти оболочки по Эллербергеру и Траутманн таковы: 1) наружная висцеральная, образованная висцеральным листком брюшины (tunica vaginalis propria) и 2) волокнистая или белочная оболочка (tunica albuginea). Первый состоит из соединительно-тканного слоя сравнительно не богатого кровеносными сосудами и эластическими волокнами, снаружи он одет однослойным плоским эпителием (серозным), а снутра плотно сращен с белочной оболочкой. Последняя представляет собою массивную соединительно тканную оболочку рыхлого строения, богатую кровеносными сосудами, почему она называется stratum vasculare.

По Кульчицкому яичко снаружи одето соединительно-тканевой оболочкой (tunica albuginea). На гладкой наружной поверхности этой оболочки лежит слой эндотелиальных клеток. К плотной соединительной ткани tunica albuginea применивается довольно значительное количество тонких упругих волокон. Под tunica albuginea лежит слой очень рыхлой соединительной ткани, богатой клетками и кровеносными сосудами (tunica vasculosa). Лавдовский и Овсянников об оболочках семянников говорят так: яичко

снаружи одето собственной оболочкой tunica albuginea propria, состоящей из плотно переплетенных пучков волокнистой соединительной ткани, идущей параллельно поверхности яичка с примесью небольшого количества эластических волокон. Другие оболочки соответствуют слоям брюшной стенки и образуются при опущении яичка из брюшной полости в полость мошонки и при образовании пахового канала. Эти оболочки, если рассматривать их снутри кнаружи, следующие: 1) собственная влагалищная оболочка яичка (tunica vaginalis propria), состоящая из двух листков брюшины внутреннего висцерального (tunica adnata) и наружного париэтального; 2) общая влагалищная оболочка яичка и семянного канатика tunica vaginalis communis testis и funiculi spermatici, состоящая из соединительной ткани. Между внутренней поверхностью данной оболочки и наружной поверхностью предыдущей на протяжении двух нижних третей яичка расположен слой гладких мышечных волокон; 3) tunica dartos или cornea состоит из рыхлой соединительной ткани с значительным количеством гладких мышечных волокон, идущих в продольном направлении; 4) кожа довольно тонкая.

По данным Szymonowicz'a семянники одеты tunica albuginea, состоящей из соединительной ткани, внутренний слой этой оболочки, богатый кровеносными сосудами называется tunica vasculosa. Снаружи эта оболочка покрыта висцеральной оболочкой tunica vaginalis propria (tunica adnata). Висцеральная оболочка сверху одета париетальной оболочкой. Между этими оболочками висцеральной и париетальной находится полость, часть полости тела. На свободной верхней поверхности каждая оболочка одета пластинчатым эпителием. Наконец, по словам Szymonovicz'a: «Dass viscerale Blatt der tunica vaginalis propria ist der nähsten Hülle der tunica vaginalis communis aufgelagert. Zwischen diesen letzteren liegt eine Lage glatter Muskel rellen M. cremaster internus».

По Штёру testes окружены соединительно тканной оболочкой. Означенная оболочка — белочная оболочка (tunica albuginea s. fibrosa) представляет собою плотную кожицу, охватывающую паренхиму яичка. Она состоит из плотной волокнистой соединительной ткани и многочисленных эластических волокон, количество которых увеличивается с годами. На свободной своей поверхности оболочка покрыта однослойным плоским эпителием (это будет висцеральный листок tunica vaginalis propria) и примыкает изнутри к слою рыхлой соединительной ткани с эластическими волокнами, которая является проводником многих сосудов. Означенный слой носит название tunica vasculosa и состоит в связи с septula testis.

Наконец по Краузе (Krause Rud.) яичко снаружи одето соединительно-тканной оболочкой, содержащей многочисленные кровеносные сосуды и представляющий собой соединение висцерального листка tunica vaginalis propria с tunica albuginea testis. Об эпителии, одевающем tunica albuginea автор не упоминает.

Из приведенных данных видно, что вопрос об оболочках семянников млекопитающих далеко точно не изучен. Так, например, относительно эпителиального слоя, имеющегося в капсуле семянника имеются такие указания:

1) По Элленбергеру эпителий одевает tunica vaginalis propria, по Кульчицкому эпителиальный слой лежит на гладкой наружной поверхности tunica albuginea. Szymonowicz указывает, что эпителиальный слой лежит между висцеральным и париетальным слоями tunica adnata. На свободной верхней поверхности каждый слой одет пластинчатым эпителием.

Штёр относительно оболочки tunica vaginalis communis говорит, что таковой является плоский эпителий, одевающий tunica. Краузе об эпителиальном слое на оболочке семянника не упоминает вовсе.

У зубров семянная капсула состоит из соединительной ткани, в которой можно заметить несколько слоев: наружный с волокнами идущими параллельно поверхности семянника, затем в следующем слое волокна идут перпендикулярно к первому слою, далее следует слой с волокнами параллельными первому слою и, наконец, слой с волокнами параллельными второму слою, прилегающий к семянным канальцам.

Что касается соединительно-тканных волокон, то одни из них не ветвятся, но интенсивно окрашиваются орсеином в кислой среде (так наз. колластиновые волокна), другие являются типичными коллагеновыми волокнами.

Среди ткани капсулы встречаются, кроме того, кровеносные сосуды, вены и артерии. Число их очень большое. Наиболее развиты сосуды во втором и третьем слое соединительной ткани. В остальных слоях диаметр сосудов очень мелкого калибра. Кроме сосудов имеются еще лимфатические щели, выстланные эндотелием.

Снаружи описанной капсулы лежит висцеральный листок tunica vaginalis propria. Эта оболочка состоит из соединительной ткани, бедной клетками. Волокна идут параллельно поверхности семянника. Эпителий, покрывающий данную оболочку, в некоторых местах дает углубления внутрь последней: форма эпителиальных клеток самая разнообразная. Встречаются клетки кубические, цилиндрические, с узкими и широкими клетками, плоские. Ядра клеток крупные, хорошо красящиеся ядерными красками. В прото-

плазме клетки имеется ряд мелких зернистых включений. Некоторые из вышеуказанных клеток дают разнообразной формы отростки, внедряющиеся в оболочку. Между указанными отростками встречаются клетки очень узкие, имеющие ядра пикнотического характера и зернистую протоплазму. У рогатого скота оболочка семянника состоит из соединительной ткани богатой эластическими волокнами. Мускульные элементы отсутствуют. К ним прилегает неотличающаяся от них tunica propria. Эндотелиальная обкладка хорошо развита. Таким образом, строения семянной капсулы зубра и обыкновенного быка — сходны. Membrana propria семянных трубочек состоит из соединительной ткани колластинового характера. Между семянными трубочками расположена соединительная ткань. Клеточки данной соединительной ткани: одни имеют форму веретенообразную, другие — звездчатую. В этих клетках, при обработке осмиевой кислотой, видны капельки жира. Кроме того, встречаются большие круглые клетки лимфоциты и лейкоциты с эозинофильной зернистостью. Что касается волокон рассматриваемой соединительной ткани, то одни из них являются типичными коллагеновыми волокнами, другие имеют свойство колластиновых волокон.

Внутри семянных канальцев имеются следующие элементы:

1) Клетки сертолиевы. Они имеют обычную форму — базальная часть их широкая, верхний конец с лопастообразными отростками. Внутри базальной части лежит ядро; в лопастообразных отростках имеются капельки жира и митохондрии. 2) Сперматогонии. Их эмбриологи делят на две группы: одну группу Мевес (Meves) назвал исходными, первоначальными клетками (Ursamenzellen) и другую собственно сперматогониями. В исследованных семянниках зубров в противоположность другим млекопитающим, нельзя было установить каких-либо морфологических различий между теми и другими клетками. Все различие сводится, главным образом, к различному расположению тех и других элементов в семянном канальце. Первоначальные клетки лежат ближе к оболочке семянного канальца, а собственно сперматогонии ближе к центру последнего. Форма первоначальных клеток самая разнообразная: шаровидная, овальная, плоская, вытянутая в длину, клетки с лопастообразными или нитчатыми отростками. Границы клеток хорошо видны, но иногда несколько клеток сливаются вместе, образуя как бы синцитий. Плазма клеток светлая, волокнистая, с зернышками. При окраске означенных клеток по методу Гейденгайна означенные зернышки являются буро-желтыми. Ядра клеток имеют разное строение. В одних клетках ядра большие, круглые. Строение ядра гомогенное, прозрачное. Ядерная оболочка выражена слабо. Хроматин нахо-

дится внутри ядра в виде небольшой глыбки. Недалеко от центральной глыбки хроматина имеются один или два маленьких шарика (две точки). Все ядро красится сафранином в слаборозовый цвет, гематоксилином в светло-голубой; кармином и вообще кислыми красками не красится вовсе. Центральная глыбка хроматина окрашивается щелочными красками. Эксцентрично лежащие зернышки одно или два красятся гематоксилином в интенсивный темно-синий цвет.

Описанные клетки это, как сказано выше, суть клетки первичные Ursamenzellen и клетки, происшедшие путем первого деления первых.

Другого рода клетки-сперматогонии в собственном смысле этого слова имеют такое строение. Протоплазма то более или менее гомогенная, светлая, то отличается бо́льшею волокнистостью и более темной окраской, чем у первых. В протоплазме клеток заметны две центрозомы и интенсивно окрашивающееся гематоксилином Гейденгайна тельце. Оно бывает у конца ядра или рядом с центрозомами. В дальнейшем, это тельце, повидимому, участвует в образовании перфоратория спермия. Наконец, в данных клетках встречаются зерна, также красящиеся гематоксилином Гейденгайна. Они располагаются или группами, или цепочками. Возможно, что эти элементы — митохондрии Bend'a. Ядра указанных клеток построены неодинаково. У одних клеток ядра довольно крупные, овальной или шаровидной формы. Оболочка ядра не ясно выражена. По периферии ядра лежит очень много мелких хроматиновых зернышек, в центре находится или глыбка хроматина, или несколько зернышек (максимум 6), более крупных, чем зернышки, лежащие по периферии ядра. Далее попадаются ядра, в которых нет ни центральной глыбки, ни более мелких зернышек, а все ядро наполнено комочками хроматина более или менее равной величины, расположенными по периферии ядра. Оболочка ядер последнего типа более заметна, чем на ядрах вышеописанных. Наконец, попадаются ядра с резко выраженной оболочкой. Внутри ядер по периферии и в центре находится большое количество зернышек хроматина. Хроматиновая глыбка отсутствует. Эти ядра окружены поясом гомогенной плазмы. В клетках с такими ядрами нет зернистости и волокон. Центрозомы и упомянутое выше зернышко, а также элементы митохондрий имеются.

Все вышеописанные элементы семянных трубочек зубра размножаются митотическим путем. На стадии рыхлых клубков происходит сдвижение хроматина к одному из полюсов, так назыв. фигура synapsis. В дальнейшем очень многие клетки с фигурой synapsis подвергаются хроматолизу.

Путем деления сперматогониев происходят сперматоциты первого порядка. В начале своего появления сперматоциты первого порядка бывают такого же размера, как и сперматогонии, но затем они растут и становятся в конце концов раза в четыре больше сперматогониев. Протоплазма их мелкозернистая. Зернышки по методу Гейденгайна красятся в коричневый цвет. Затем встречаются в протоплазме сперматоцитов митохондрии или в виде более или менее крупных зерен, расположенных в более молодых сперматоцитах группами, или в более старых — цепочками. Ядра сперматоцитов двоякого рода. У одних — ядра имеют такую же структуру, как в сперматогониях. Хроматин у них в виде мелких элементов, расположен по периферии ядра. Клеток с такими ядрами встречается мало. У других клеток ядра крупнее, шаровидной или реже — эллиптической формы. Оболочка ядра хорошо видна. Внутри ядра лининовая сетка с вкрапленными в нее глыбками хроматина. Во многих ядрах хорошо видно ядрышко. В протоплазме сперматоцитов близ ядра лежат две центрозомы, окруженные светлой зоной, а также идиозома в виде вытянутого тельца или кольца. В некоторых клетках митохондриальные цепочки примыкают к такой идиозоме, располагаясь параллельно ядерной поверхности. Необходимо отметить, что многие сперматоциты зубра дальше не развиваются и резорбируются на вышеуказанной стадии. Атрофия сперматоцитов идет разными путями. У одних наблюдается такая картина гибели: хроматин скопляется в одном или двух местах ядра. Лининовая сетка становится ясно заметной. Затем, хроматин начинает растворяться, по мере исчезновения хроматина пропадает и лининовая сетка. Ядро становится гомогенным, бледным. У других клеток хроматин в ядре принимает вид гомогенной глыбки, занимающей часть ядра. В протоплазме этих клеток появляются вакуоли; центрозома и идиозома исчезают и клетка гибнет. Наконец, наблюдается гибель некоторых сперматоцитов на стадии synapsis.

Среди сперматоцитов первого порядка встречаются сперматоциты в стадии деления. Начальная стадия профаза на исследованном материале слабо выражена. Попадаются ядра в стадии спиремы, при чем ядерная оболочка и часто ядрышко отсутствуют. На стадии клеточного клубка хроматин располагается эксцентрично по поверхности ядра в виде комочков, одинаковой величины. Линин находится в середине ядра. На стадии спиремы хроматин образует одну непрерывную нить, петли этой нити расположены без всякой правильности. Продольного расщепления нити хроматина на препаратах не встречалось. Поперечное распадение на хромозомы в некоторых случаях можно видеть. Число хромозом в стадии monaster 12 (наиболее

часто). 16, 17 и 18. Продольного расщепления хромозом на стадии метафаза не наблюдалось. Нити ахроматинового веретена примыкают или к самой центрозоме или к окружающим ее зернышкам астросферы. Идиозома лежит сбоку. Аладьина наблюдала следующую картину редукции хроматина на рассматриваемой стадии. По ее словам, часто можно бывает наблюдать очень странную форму monaster. Если смотреть на такую звезду en face, то она представляется имеющей в центре хроматиновый комок, от которого радиусами расходятся хроматиновые же нити, оканчивающиеся утолщениями.

В профиль можно видеть ясно одну центрозому с одним конусом веретена; другая же половина его и центрозома куда-то исчезают. Центральная часть звезды с той стороны, где должна находиться вторая центрозома, выходит из плоскости, подвигается ближе к периферии клетки и, повидимому, выбрасывается вон.

«Мы», пишет Аладьина, «не настаиваем на том, что все описанное есть процесс редукции хроматина, но это есть единственный на препаратах намек на такую редукцию, тем более, что она, несомненно, должна иметь место, так как в сперматоцитах второго порядка и особенно в сперматидах, количество хроматина значительно меньше находящегося в сперматоцитах первого порядка.

«Описанная форма звезд встречается и на стадии diaster. Значит ли это, что редукция хроматина может происходить и у молодых, еще не разделившихся, сперматоцитов второго порядка. На этот вопрос, к сожалению, мы не можем ответить».

В стадии diaster имеются темные зернышки, образующие экваториальную пластинку. Они находятся на нитях веретена. В таких ядрах центрозомы и наружные части веретена не видны. Иногда на стадии diaster попадаются такие сперматоциты, у которых веретено деления располагается не по длинной оси клетки, а по короткой. В некоторых клетках можно видеть неправильную длину нитей веретена на разных сторонах его. Стадия telophasa имеет обычную картину, характерную для этой стадии.

Сперматоцитов второго порядка попадалось на изученных препаратах очень мало. Протоплазма их зернистая: митохондрии расположены или кучками, или цепочками; их довольно много. Ядро с лининовой сетью, в которую вкраплены глыбки хроматина. Количество хроматина значительно меньше, чем в сперматоцитах первого порядка. Имеются две центрозомы и идиозома. Деления сперматоцитов второго порядка на препаратах не было.

Сперматиды состоят из зернистой протоплазмы, в которой разбросаны кучки или цепочки митохондриев. Ядро имеет ясно заметную оболочку, как будто зазубренную. В нем видна лининовая сетка и хроматин в виде ядрышек. Число их колеблется от одного до девяти. Хроматина вообще меньше, сравнительно с ядрами сперматоцитов первого и второго порядка. В протоплазме имеются образования, описываемые обычно как центрозомы, в числе двух. Иногда они бывают окружены светлой зоной, вокруг которой имеется зернистая оболочка. Кроме того, в протоплазме сперматидов имеется идиозома разной формы: круглой, эллиптической или неправильной. Иногда идиозома совершенно отсутствует. Митохондрии присутствуют в сперматидах в виде цепочек. В других клетках сперматидов можно видеть, что митохондриальные зернышки образуют нить, которая прикрепляется к тому образованию, которое носит название центрозомы, причем эта нить выходит из тела клетки и становится жгутиком сперматиды. На некоторых клетках можно видеть два жгутика, примыкающих к вышеуказанным — той или другой центрозоме. Наконец, на третьего рода сперматидах имеются слияния двух нитей по выходе из сперматиды в один общий жгутик. Таким образом, нить сперматозоида зубров митохондриального происхождения. Говорить, что нить сперматозоида происходит из так называемой центрозомы не приходится, так как при наличии одной нити, та центрозома, которая несет нить, больше, чем центрозома, не несущая нити. Кроме того, в клетках с развитым жгутиком центрозома такой же величины как в клетках, где нить только что начинает развиваться. Что касается так называемых центрозом, к которым примыкает жгутик сперматида, то это образование едва ли правильно называть центрозомой. Центрозома — это орган, тесно связанный с делением клетки, орган более динамический, чем морфологический. Он появляется в клетке при условиях, определяющих деление клетки. Центрозома сперматид никакого отношения к делению клетки не имеет. Это — орган, безусловно, морфологический. Название рассматриваемого органа — центрозомой — название условное, данное по некоторому морфологическому признаку, сходному с настоящей центрозомой. Образование сперматозоидов из сперматид идет у зубров так: в ядре сперматида с ясной ядерной оболочкой становится заметной постепенно увеличивающаяся вакуоль, доходящая до оболочки ядра. Она оттесняет к одной стороне ядра линин и хроматин ядра. На стороне ядра противоположной вакуоли в хроматине обособляются три более крупных глыбки хроматина. Этими тремя пунктами намечается плоскость, в которой ядро должно сделаться плоским. На дальнейшей стадии видно, что хроматин ядра в данной плоскости прини-

мает вид конуса. Идиозома придвигается к его вершине. Центрозомы располагаются у конца ядра, противоположного указанному конусу, или иначе говоря, возле вакуоли, причем внизу находится центрозома, несущая жгутик. Далее на препаратах можно видеть такие картины. Митохондрии, лежащие цепочками, прилегают вплотную к оболочке ядра. Затем, тот конец вакуоли, который прилегает к так называемым центрозомам, как-будто разрывается, и ядро в этой части принимает колоколообразную форму. Стенки этого колокола состоят из оболочки ядра и митохондрий. Центрозомы входят внутрь колокола. Навстречу из внутренней части ядра выдается конус, вершиной вниз, состоящий, повидимому, из нитей линина. Так называемые центрозомы располагаются так: несущая жгутик, лежит вверху и примыкает к указанному конусу, а нижняя имеет вид кольца, через которое проходит жгутик верхней центрозомы. В дальнейшем ядро сильно вытягивается и уплощается. С ним сливается идиозома, и ядро становится гомогенным. Колокол и вышеупомянутый конус становятся длиннее. Центрозома с жгутиком также удлиняется. Вместо одной кольцеобразной центрозомы становится видно два кольца. Одно находится на месте, где была раньше данная центрозома, а другое отодвинуто по жгутику, отходящему от верхней центрозомы. Протоплазма сперматида плотно прилегает к ядру и как бы растекается вдоль жгутика.

Дальнейший ход развития сперматозоидов на препаратах виден такой: описанный колокол утончается; находящийся внутри его конус является более коротким и в конце концов становится шейкой сперматозоида. Стенки колокола вплотную прилегают к жгутику. Протоплазма сперматида заметно вытягивается вдоль жгутика сперматозоида.

В готовом сперматозоиде зубра отличаются следующие части: на головке дистальная (p. anterior), проксимальная (p. posterior) и лежащая между ними светлая (p. centralis). На хвосте сперматозоида Аладьина отличает три части: p. conjuctionis, p. principalis (media) и p. terminalis. Самое образование сперматозоида Аладьина рисует так: «Головка спермия», говорит она, «образуется из ядра сперматида, причем вершина головки является состоящей из хроматина и идиозомы. Шейка сперматозоида происходит из вышеописанного лининового конуса и одной из центрозом (несущей жгутик). В состав ее входит нити внешнего описанного выше колокола». Хвост сперматозоида, по данным Аладьиной, строится так: p. conjuctionis — из кольцевой центрозомы, посредством которой жгутик спермия прикрепляется к шейке, и отчасти из нитей внешнего колокола. Pars principalis (media) строится из нитей наружного колокола или из нитей внутреннего колокола

и частью из кольцевой центрозомы. Pars terminalis состоит из одной главной нити, прикрепленной к центрозоме.

Канальцы epididymis состоят из оболочки membrana propria; в оболочке ясно видны колластинные волокна. Внутри канальцы выстланы двоякого рода эпителиальными клетками. Одни клетки цилиндрической формы, высокие, узкие, с палочкообразным ядром. На свободной поверхности снабжены мерцательными волосками. Другого рода клетки круглые, неясно ограниченные одна от другой, как-бы слившиеся вместе. Протоплазма этих клеток светлая, ядра больших размеров с хорошо развитой лининовой сетью и богатые хроматином. Эти клетки непосредственно прилегают к membrana propria канальца. Просвет канальцев epididymis в полтора раза больше канальцев семянников. В промежуточной соединительной ткани, расположенной между канальцами, встречаются колластиновые волокна и типичные элаетические.

Общие выводы, вытекающие из вышеизложенных данных, таковы:

1) В капсуле исследованных семянников зубров было констатировано наличие большого количества так называемого колластина и эластических волокон. Характер интерстициальной ткани семянника, а также оболочки канальцев (membrana propria) тоже колластиновый. Такие факты говорят о дегенеративных, старческих процессах, имеющих место в исследованных объектах.

2) Первичные половые клетки Ursamenzellen и происшедшие от них сперматогонии нерезко отделяются друг от друга. Стадия synapsis, имеющая место у сперматоцитов первого порядка, стоит иногда в тесной связи с гибелью данных элементов.

3) Разница в количестве хроматинового вещества у сперматоцитов первого порядка, и сперматоцитов второго порядка, а также у сперматидов имеется. В первых хроматинового вещества больше, чем во вторых. Уменьшение количества хроматина происходит не путем редукции хромозом, а путем перемещения хроматина ядра в плазму клеток.

4) В образовании жгутика сперматозоида участвуют митохондриальные элементы сперматида.

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР. 1932
BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS

Classe des sciences mathématiques et naturelles

Отделение математических и естественных наук

ВЛИЯНИЕ УГЛЕКИСЛОТЫ НА МОРСКИЕ ИНФУЗОРИИ

М. А. ГАЛАДЖИЕВА и Е. Н. МАЛЬМ

(*Представлено академиком* С. А. Зерновым)

Токсическое и подавляющее целый ряд физиологических процессов действие CO_2 как для наземных, так и для водных организмов установлено большим количеством исследований (Nikitinsky (1), Jacobs (2), Viguier (3) Tracy (4) Willis (5) и др.).

Давно установлено, что многие простейшие могут существовать в сильно загнивающих средах.

Наблюдая жизнь морских протистов в культурах с различными физико-химическими условиями среды, мы отметили, (6) что значительная группа морских инфузорий может также существовать в загнивающих средах более или менее продолжительное время в совершенно анаэробных условиях. Можно было предположить, что такие факультативно-анаэробные формы должны быть резистентны и к повышению концентрации CO_2 в среде, как к одному из продуктов гниения и, наоборот, для тех форм, которые в естественных условиях предпочитают свежую среду без наличия гнилостных процессов, избыток CO_2 должен явиться неблагоприятным моментом. Опыты, поставленные с различными видами инфузорий при одинаковых концентрациях CO_2 вполне подтвердили эти предположения и выяснили, что существует параллелизм между резистентностью протистов к CO_2 и их способностью легко переносить анаэробные условия среды с наличием сероводорода.

Методика и материал

Для опытов в пробирки емкостью до 40 см³ отсаживались разные инфузории в обычной для них среде. Через среду с инфузориями пропускалась углекислота из баллона до понижения величины pH до 5.6—5.7 таким образом, что необходимый минимум кислорода (до 1.5 — 1 см³ на литр) в среде все же оставался.

Во всех опытах в среду вводилось одинаковое количество CO_2, что контролировалось каждый раз измерением величины pH. Опыты велись при одинаковой температуре. Через различные промежутки времени, начиная 20—30″, инфузории для проверки переводились в кристаллизаторы и просматривались под бинокуляром или микроскопом, причем избыток CO_2 удалялся.

Таким образом, путем постепенного увеличения времени пребывания инфузорий в среде, удавалось точно установить время максимальной выживаемости каждого отдельного вида. В среднем, с каждым видом было поставлено от 10 до 25 опытов.

Результаты опытов

Прежде всего необходимо отметить резко индивидуальное отношение различных видов инфузорий к CO_2 и не только во времени выживаемости, но также и в характере физиологической реакции на избыток CO_2 в среде. Но, чтобы дать более или менее общую характеристику действия CO_2 на те или иные формы, инфузории разделены нами на 4 группы, соответственно их отношению к CO_2 не только по времени выживаемости, но также и по адэкватности их физиологической реакции к CO_2. Всего нами было исследовано около 40 видов морских инфузорий.

ГРУППА I

1. *Tintinnus subulatus* 20—30″.
2. *Tintinnopsis campanula* 20—30″.
3. *Cittarocilis ehrenbergi* 30″.
4. *Tintinnus mediterraneus* 30″.
5. *Tintinnopsis beroidea* 40″.
6. *Cittaracilis helix* 40″.
7. *Strobilidium* sp. 30—40″.
8. *Holosticha rubra* 1′.
9. *Epiclintes ambiguus* около 1′.
10. *Strombidium typicum* 3′.
11. *Strombidium stylifer* 3′.
12. *Strombidium* sp. 3′.
13. *Strombidium sulcatum* 3′.
14. *Holosticha scutellum* 3′.
15. *Epiclintes retractilis* 3′.
16. *Amphisia capitata* (*marioni*) 3′.
17. *Chlamidodon triquetra* 3′.
18. *Dysteria armata* 3′.
19. *Pleuronema chrysalis* 5—10′.
20. *Holosticha multinucleata* 10—15′.
21. *Actinotricha saltans* 15—20′.
22. *Spirostomum lanceolatum* 20—25′.

Инфузории данной группы относятся к оксибиотным формам. В естественных условиях эти формы обычно ведут или пелагический образ жизни, или встречаются на дне в чистых, мало загрязненных водах, но обязательно в присутствии кислорода в среде. Многие из них растительноядные и не массовые формы.

Действие CO_2 на инфузорий этой группы сказывается очень быстро и выживаемость их колеблется от нескольких секунд до 20—25′: CO_2 является для большинства из них не только сильным токсическим фактором, но также и специфически действует на протоплазму, изменяя ее вязкость и конституцию. У подавляющего большинства инфузорий этой группы, в результа-

те действия CO_2 после кратковременного, в первый момент, возбуждения, нарушается координация движений ресничек. Движения их становятся беспорядочными и неправильными, а в скором времени и совсем приостанавливаются. В большинстве случаев после разрыва пелликулярного слоя, тело инфузории совершенно распадается и расплывается в среде. Так, например, уже в течение 1-й минуты 20% *Strombidium sulcatum* и *Strombidium* sp. погибают при явлениях распада. Представители сем. *Tintinnoidea*, как планктонные организмы, встречающиеся в чистой воде с нормальным содержанием O_2 при значительных концентрациях CO_2 погибают еще быстрее. Уже через 20—30″ у них парализуются всякие движения и начинается распад. Так же реагирует на CO_2 большинство остальных форм этой группы с индивидуальными вариациями.

Наибольшей деформации в условиях избытка CO_2 в среде подвергаются такие формы как *Spirostomum lanceolatum*, *Pleuronema chrysalis*, *Actinotricha saltans* у которых, как это следует из времени их выживаемости, сопротивляемость токсическому действию CO_2 несколько больше, чем у других видов описываемой группы. Все же, в конце концов, и эти виды скоро погибают, также подвергаясь процессу полного разрушения.

ГРУППА II

1. *Gonostomum pediculiforme* 30′.
2. *Trachelocerca phoenicopterus* 30′.
3. *Uroleptus cygnus* 40′.
4. *Uronema marina* 40′.
5. *Diophrys norvegicus* 40—50′.
6. *Chaenia elongata* 45′
7. *Chaenia teres* 50—1 ч.
8. *Diophrys appendiculatus* 1 ч. — 1 ч. 10′.
9. *Spirostomum teres* около. 2 ч.
10. *Condylostoma patens* 2 ч. 15′.
11. *Amphisia kessleri* около 3 ч.

Большинство этих форм в естественных условиях и в культурах предпочитает среды несколько более загрязненные, чем инфузории 1-й группы. Это, в большинстве своем, мезосапробные, эврибиотные формы, которые обычно встречаются или в средах с начальной стадией гнилостного брожения, или уже после того, как гнилостные процессы с интенсивным образованием H_2S в среде — заканчиваются. Такой вид, как например, *Uronema marina*, являясь бактериофагом, обычно встречается в культурах в первой стадии гнилостных процессов в среде с незначительным количеством H_2S. В таких случаях *Uronema marina* держится, главным образом, на поверхности. То же самое можно сказать в отношении *Chaenia*, которые, в богатых бактериальной флорой средах охотятся за другими инфузориями, питающимися бактериями.

Характерной реакцией инфузорий этой группы на избыток CO_2 в среде является процесс постепенной интоксикации. Это выражается в нарастающей моторной депрессии, постепенной деформации и в съеживании. Процессы деформации особенно резко проявляются у *Condylostoma* и *Chaenia,* как у форм, обладающих в большей мере сопротивляемостью к токсическому действию CO_2.

Так и следовало ожидать, виды одного и того же рода реагируют неодинаково на токсичность CO_2. Так, например, *Diophrys norwegicus* погибает быстрее, чем *D. appendiculatus*; *Chaenia elongata* быстрее *C. teres.*

Среди представителей инфузорий этой группы встречаются бактериофаги, хищники и инфузории, питающиеся диатомовыми. Многие из них являются массовыми формами.

ГРУППА III

1. *Euplotes vannus* 24 ч.
2. *Euplotes charon* 24 ч.
3. *Euplotes harpa* 168 ч.
4. *Lionotus lamella* 170—180 ч.

Инфузории этой группы являются типично мезосапробными формами, предпочитающими жить в сильно гниющих средах, часто со значительным количеством H_2S (до 25 см³ на л). Характерным является тот факт, что совпадение во времени выживаемости в среде с избытком CO_2 совершенно соответствует биологическим особенностям инфузорий этой группы. Так, *Euplotes vannus* и *E. charon*, обычно, встречаются как совместные формы в гниющих средах с количеством сероводорода не свыше 10 см³. Точно также *Euplotes harpa* и *Lionotus lamella* часто живут вместе в одной и той же среде. Их выносливость к H_2S значительно больше, чем у двух предыдущих форм, и в то же время, как это следует из опыта, эти же инфузории более выносливы к избытку CO_2 в среде, чем другие виды. В этом отношении результаты наших опытов совершенно подтверждают наблюдения Herman Beerman (7), который в своей работе о действии сероводорода на инфузории приходит к заключению, что «The order of resistance of various protozoa to hydrogen sulphide resembles the order of resistance of the same protozoa to carbonic acid» (p. 42).

Физиологическое действие CO_2 на инфузории этой группы сильно отличается от действия ее на инфузории двух первых групп. В течение нескольких минут (не больше 15 мин.) после введения CO_2 в среду, инфузории постепенно прекращают свои движения и остаются неподвижными на месте, как бы анэстезированные или фиксированные, прекрасно сохраняя свою

форму и структуру. Для этих форм действие CO_2 является наркотическим, и инфузории могут оставаться в состоянии наркоза значительно долгое время.

После удаления CO_2 из среды, путем выдувания воздухом, инфузории постепенно приходят в движение, начинают медленно двигать ресничками и, в течение различных для каждого вида промежутков времени, приходят в совершенно нормальное состояние.

У *Euplotes vannus* обычно состояние наркоза наступает в течение уже первой минуты, в то время как у *Euplotes charon* движения иногда продолжаются еще в течение 15—20′. После удаления CO_2 из среды *Euplotes vannus* несколько позже чем *Euplotes charon* приходит в движение. Точно также *Lionotus lamella* по сравнению с *Euplotes harpa* является более выносливым по отношению к CO_2. За исключением *Lionotus lamella*, встречающегося всегда в небольшом количестве, все остальные инфузории этой группы — массовые формы в благоприятных условиях, дающие сплошь и рядом густо населенные, часто почти чистые культуры.

ГРУППА IV

1. *Plagiopyla nasuta*
2. *Metopus sigmoides.*

} более 9 суток.

Наблюдения над этими инфузориями после 9 суток их пребывания в среде с CO_2 были прекращены. Поэтому, весьма вероятно, что они могут жить в подобных условиях и дольше.

Физиологическое действие больших концентраций CO_2 на эти формы резко отлично от трех предыдущих групп. Обе указанные формы в течение всего времени пребывания в экспериментальной среде не прекращали движений, находясь, повидимому, в совершенно нормальном состоянии, без видимых признаков депрессии. Эти две формы, как показали наши неоднократные наблюдения, могут существовать и встречаются, главным образом, в очень гнилостных средах в условиях полного и длительного анаэробиоза, обычно на дне культур с большим содержанием H_2S в среде (до 45 см³ на 1 л).

Выводы

1) CO_2 имеет сильное токсическое действие для большинства морских инфузорий, относящихся к оксибиотным формам и живущих в естественных условиях только в присутствии O_2 в среде.

2) Мезосапробные формы инфузорий, живущие в условиях незначительного гниения в среде, реагируют на избыток CO_2 явлениями постепенной интоксикации.

3) На формы, живущие в естественной обстановке в гнилостных средах и могущие выносить наличие в среде H_2S, — избыток CO_2 в среде (при pH 5.6—5.7) оказывает быстрое наркотическое действие, сохраняя инфузории в состоянии vitae minimae.

4) Немногие формы инфузорий, выносящие длительное пребывание в анаэробных условиях с значительным напряжением H_2S в среде, относятся индифферентно к избытку CO_2, в течение продолжительного времени не прекращая своих жизненных функций.

5) На основании разрушающего действия CO_2 на пелликулярную оболочку и протоплазму большинства морских инфузорий, можно судить о специфическом ее действии на биоколлоиды клетки в смысле изменения ее вязкости.

6) Различное отношение инфузорий к избытку CO_2 в среде может служить, до некоторой степени, биологической характеристикой в смысле отношения их к анаэробным условиям и в частности к сероводороду.

Это вытекает из того, что формы, резистентные к увеличению CO_2 в среде, хорошо выносят как отсутствие кислорода так и присутствие в среде значительных количеств сероводорода.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Nikitinsky J. N. Über die Wirkung der Kohlensäure auf Wasserorganismen. Zentralbl f. Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten. Bd. 73, S. 481, 1928.
2. Jacobs M. N. The Effects of Carbon Dioxide of the Constituency of Protoplasm. Biol. Bull., vol. XLII, 1922.
3. Viguier M. B. Action de l'acide carbonique sur les oeufs d'Echinodermes. R. C. de l'Acad. des Sciences. Paris, 1903.
4. Tracy H. C. The Relation of Carbon Dioxide to Spontaneous Movements in the Larvae of *Opsanus* Tan. Biol. bull., vol. XOVIII, 1925.
5. Willis J. A. Effects of Carbon Dioxide. Effect of Different Tensions of Carbon Dioxide on Certain Orthoptera (Grasshoppers). Biol. bull. XLVIII, 1925.
6. Галаджиев М. А. и Мальм Е. Н. Жизнь морских *Protozoa* в культурах, в связи с изменениями среды. Изв. Крымск. иссл. инст., т. I, вып. 2, 1930.
7. Beerman H. Some Physiological Actions of Hydrogen Sulphide. The Journ. of Exper. Zoology, vol. 41, 1924.

M. GALADŽIJEV (M. GALADJIEFF) and E. MALM. THE INFLUENCE OF CARBON DIOXIDE ON MARINE INFUSORIA

SUMMARY

Carbon dioxide was introduced into the medium with marine iufusoria. The results of the experiments with forty different species of infusoria with equal quantities of CO_2 in the medium are the following:

1) CO_2 has a strong toxic effect upon the most part of marine infusoria belonging to oxybiotic forms that live in natural conditions only in the presence of O_2 in the medium, for instance, *Tintinnoidea*, *Strombidium* and others.

2) Mesasaprobic forms of infusoria, such as *Gonostomum pediculiforme*, *Uronema marina*, *Diophrys*, *Condylostoma patens* etc., living in putrescent medium, react to the abundance of CO_2 by gradual intoxications.

3) The abundance of CO_2 in the medium (by pH 5. 6—5.7) has a prompt narcotic influence upon the forms that live in natural conditions in putrescent mediums and are able to endure the presence of H_2S (25 cm^3 per litre) in the medium, for instance, *Euplotes*, *Lionotus lamella;* the infusoria are kept in the state of «vitae minimae».

4) A few forms of infusoria, for instance, *Plagiopyla nasuta, Metopus sigmoides* etc., that are able to endure a long presence in anaerobic conditions with a considerable tension of N_2S in the medium (to 45 cm^3 per litre) react indifferently to the abundance of CO_2, going on with their vital functions for a long time.

5) On the basis of the destructive influence of CO_2 upon the pellicula and protoplasm of the most part of marine infusoria it is possible to judge about its specific infiuence upon the cell bicolloids in the sense of the change of its viscosity.

6) The different attitude of infusoria to the abundance of CO_2 in the medium may serve to a certain degree as a biological characteristic in their relations to the anaerobic conditions and to the hydrogen sulphide in particular.

It follows from this that the forms resistent to the increase of CO_2 in the medium endure easily the absence of oxygen as well as the presence of considerable quantities of hydrogen sulphide in the medium.